



TESIS - SF142502

KARAKTERISASI BATU APUNG LOMBOK SEBAGAI BAHAN KOMPOSIT ALAMI

MOHAMMAD RIDHA
1113201022

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Darminto, M.Sc

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MATERIAL
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - SF142502

CHARACTERIZATION OF LOMBOK PUMICE AS A NATURAL COMPOSITE MATERIAL

Mohammad Ridha
1113201022

SUPERVISOR
Prof. Dr.Darminto, M.Sc

MAGISTER PROGRAM
STUDY ON MATERIAL SCIENCES
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF MATHEMATIC AND NATURAL SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Sains (M.Si)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Mohammad Ridha

NRP 1113201022

Tanggal Ujian: 12 Januari 2016

Periode Wisuda: Maret 2016

Disetujui oleh:

1. Prof. Dr. Darminto, M.Sc

NIP. 19600303 198701 1 002

(Pembimbing)

(.....)

2. Dr. Mochamad Zainuri, M.Si

NIP. 19640130 199002 1 001

(Penguji I)

(.....)

3. Dr. rer.nat. Triwikatoro, M.Sc

NIP. 19660114 199002 1 001

(Penguji II)

(.....)

Direktur Program Pascasarjana,



Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D

NIP. 19601202 198701 1 001

KARAKTERISASI BATU APUNG LOMBOK SEBAGAI BAHAN KOMPOSIT ALAMI

Nama mahasiswa : Mohammad Ridha
NRP : 1113201022
Pembimbing : Prof. Dr. Darminto, M. Sc.

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengkarakterisasi batu apung Lombok sebagai bahan komposit alam. Dalam penelitian ini, karakterisasi batu apung dilakukan berupa uji sifat fisis (densitas, porositas, dan volume pori spesifik), kekerasan (hardness), sifat kimia dan struktur mikro. Batu apung diambil dari tiga lokasi di pulau Lombok, yaitu desa Ijobalit Labuhan Haji, desa Lendang Nangka dan desa Karang Sidemen dengan kedalaman galian $\pm 0,3$ m dan $\pm 3,0$ m dari permukaan tanah. Batu apung dicuci, dikeringkan, dan dibentuk menjadi sampel uji. Sifat fisis diuji dengan metode Archimedes, hardness diuji dengan metode Vickers, komposisi kimia diuji dengan XRF, dan struktur mikro dikarakterisasi dengan SEM. Hasil mikrografi SEM dianalisis dengan software Image-J untuk mendapatkan porositas pembandingan. Dari penelitian ini diperoleh densitas asli sebesar (0,610 - 0,753) gram/cm³, densitas kering sebesar (0,594 - 0,737) gram/cm³, densitas jenuh sebesar (1,057 - 1,148) gram/cm³, porositas sebesar (32,03 - 51,20) %, volume pori spesifik (0,435 - 0,817) cm³/gram dan hardness sebesar (6,08 - 19,18) kg/mm². Struktur mikro menampilkan tekstur batu apung tersusun atas pori-pori dengan porositas hasil software Image-J sebesar (38,38 - 56,80) %. Software Image-J relevan digunakan untuk menganalisis porositas dari mikrografi SEM sampel. Komposisi kimia batu apung Lombok didominasi oleh SiO₂ dengan persentase mencapai 58,60%.

Kata kunci : batu apung Lombok, metode Archimedes, metode Vickers, XRF, SEM dan software Image-J

CHARACTERIZATION OF LOMBOK PUMICE AS A NATURAL COMPOSITE MATERIAL

Name : Mohammad Ridha
NRP : 1113201022
Supervisor : Prof.Dr. Darminto, M.Sc

ABSTRACT

This research is done to characterize Lombok pumice as a natural composite. In this research, characterization of pumice is done such as physical properties test (density, porosity, and specific pore volume), hardness, chemical properties, and microstructure. Pumice is taken from three location of Lombok Island, there are desa Ijobalit Labuhan Haji, desa Lendang Nangka, and desa Karang Sidemen with depth of excavation $\pm 0,3$ m and $\pm 3,0$ m of ground level. Pumice is washed, dried, and molded to be sample test. Physical properties are tested by Archimedes method, hardness is tested by Vickers method, chemical composition is tested by XRF, and microstructure is characterized by SEM. The result of SEM micrograph is analyzed by Image-J software to obtain the porosity comparison. The result of this research are natural density is (0,610 - 0,753) gram/cm³, dry density is (0,594 - 0,737) gram/cm³, saturated density is (1,057 - 1,148) gram/cm³, porosity is (32,03 - 51,20) %, specific pore volume is (0,435 - 0,817) cm³/gram and hardness is (6,08 – 19,18) kg/mm². The microstructure of pumice shows that surface pumice texture is composed of pores with the porosity from Image-J analysis is (38,38 - 56,80) %. So, Image-J software is relevant to analysis porosity of sample SEM micrograph. The chemical composition of Lombok pumice is dominated by SiO₂ with a percentage reaching 58,60%.

Keywords : Lombok pumice, Archimedes method, Vickers method, XRF, SEM and Image-J software

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil Alamin. Puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT atas berkat limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar Magister Sains (M.Si) pada jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya dengan judul: **“KARAKTERISASI BATU APUNG LOMBOK SEBAGAI BAHAN KOMPOSIT ALAMI”**

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya penyusunan Tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Darminto, M.Sc selaku dosen pembimbing tesis yang senantiasa memberikan bimbingan, wawasan, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
2. Dr. M. Zainuri, M.Si dan Dr. rer.nat. Triwikantoro, M.Sc selaku dosen penguji atas saran, kritik, masukan, dan arahnya sehingga memperluas wawasan penulis.
3. Dr. Yono Hadi Pramono, selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS yang telah memberikan kemudahan sarana kepada penulis selama kuliah sampai terselesaikannya tesis ini.
4. Seluruh Staf Pengajar di Jurusan Fisika FMIPA ITS, terimakasih atas pendidikan, ilmu pengetahuan, dan motivasi yang telah diberikan.
5. Ayah H. Mansyur Akrami, Bunda Nikmah, saudara-saudaraku: Kak Miftah sekeluarga, Kak Ahmad Isnaini sekeluarga, Kak Ria sekeluarga, adikku Zahratul Aini, dan seluruh keluarga "Akrami" serta seorang yang selalu mendo'akanku dalam diamnya. Terima kasih banyak atas do'a, semangat, perhatian, bantuan dan pengertiannya.
6. Teman seperjuangan mahasiswa Pascasarjana Fisika angkatan 2013.
7. Segenap pihak yang berkontribusi dalam penyelesaian tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, "Terimakasih atas kontribusinya".

Penulis menyadari sepenuhnya atas keterbatasan ilmu pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki, oleh karena itu penulis berharap akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan tesis ini. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan serta memberikan inspirasi bagi pembaca untuk perkembangan yang lebih lanjut.

Surabaya, 25 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Deskripsi Batuan Apung (<i>Pumice</i>).....	5
2.1.1 Material Vulkanik Pembentuk Batu Apung.....	5
2.1.2 Proses Terbentuknya Batu Apung	8
2.1.3 Karakteristik Batu Apung	9
2.1.4 Penambangan Batu Apung	10
2.1.4 Potensi Aplikasi Batu Apung	11
2.2 Batu Apung Sebagai Bahan Komposit Alam.....	13
2.3 Densitas, Berat Jenis dan Porositas	13
2.4 Kekerasan (<i>Hardness</i>).....	14
2.5 Struktur Mikro.....	15
2.6 Software Image-J	17
 BAB 3 METODE PENELITIAN	
3.1 Peralatan dan Lokasi Pengambilan Sampel	19

3.1.1 Peralatan	19
3.1.2 Lokasi Pengambilan Sampel	19
3.2 Prosedur Penelitian	20
3.3 Karakterisasi Material	20
3.3.1 Pengujian dengan Metode Archimedes	20
3.3.2 Pengujian dengan XRF	22
3.3.3 Pengujian dengan Metode Vickers	23
3.3.4 Pengujian dengan SEM	24
3.4 Diagram Alir Penelitian	25
3.4.1 Diagram Alir Uji dengan Metode Archimedes	26
3.4.2 Diagram Alir Analisis Mikrografi SEM dengan Image-J	27
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Sifat Fisis	29
4.1.1 Analisis Nialai Densitas	29
4.1.2 Analisis Nilai Porositas	34
4.2 Analisis Nilai Hardness	36
4.3 Analisis Struktur Mikro	38
4.3.1 Analisis Data Mikrografi SEM	38
4.3.2 Analisis Porositas dari Mikrografi SEM dengan Image-J	40
4.4 Analisis Komposisi Kimia	43
BAB 5 KESIMPULAN	
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	51
BIOGRAFI PENULIS	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Batu apung (<i>pumice</i>)	5
2.2 Skema penambangan batu apung dari hulu hingga hilir	11
2.3 Grafik relasi antara densitas dengan porositas	14
2.4 Bagan cakupan struktur mikro material	16
2.5 Mikrografi SEM <i>pumice</i>	16
3.1 Peta lokasi pengambilan sampel batu apung Lombok	19
3.2 Seperangkat peralatan uji XRF	22
3.3 Seperangkat alat uji Vickers	23
3.4 Seperangkat instrument SEM	24
3.5 Diagram Alir Penelitian	25
3.6 Diagram alir pengujian dengan metode Archimedes	26
3.7 Diagram alir analisis gambar SEM dengan software Image-J	27
4.1 Grafik nilai densitas batu apung Lombok dari tiga lokasi pengambilan sampel	31
4.2 Grafik nilai porositas batu apung dengan variasi lokasi pengambilan sampel	35
4.3 Grafik nilai hardness batu apung dengan variasi lokasi pengambilan sampel	37
4.4 Mikrografi SEM sampel batu apung Lombok	39
4.5 Tampilan mikrografi SEM batu apung Lombok tahap analisis menggunakan Image-J	41
4.6 Grafik nilai porositas batu apung Lombok hasil analisis software Image-J	43
4.7 Distribusi unsur-unsur penyusun batu apung Lombok hasil EDX	44
4.8 Difraksi sinar-X sampel batu apung Lombok dari lokasi I	44

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Klasifikasi endapan piroklastik menurut ukuran fragmen	8
Tabel 2.2 Komposisi kimia <i>acidic</i> dan <i>basaltic pumice</i>	9
Tabel 2.3 Sifat kimia batu apung	10
Tabel 2.4 Sifat Fisika batu apung	10
Tabel 2.5 Industri pengguna, fungsi dan drajad ukuran butir batu apung	12
Tabel 4.1 Data hasil pengujian densitas batu apung Lombok dengan metode Archimedes	30
Tabel 4.2 Data hasil pengujian porositas batu apung Lombok dengan metode Archimedes	34
Tabel 4.3 Data hasil pengujian hardness batu apung Lombok dengan metode Vickers	37
Tabel 4.4 Data nilai porositas dan ukuran diameter luas penampang pori batu apung Lombok hasil analisis software Image-J	42
Tabel 4.6 Data komposisi kimia batu apung Lombok hasil XRF	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1 Hasil pengujian dengan metode Archimedes	51
Lampiran 2 Hasil pengujian hardness dengan metode Vickers	54
Lampiran 3 Hasil analisis porositas dengan software Image-J	56
Lampiran 4 Tampilan sebaran unsur-unsur komposisi kimia hasil EDX	59
Lampiran 5 Hasil uji komposisi kimia dengan XRF	65

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Letak Indonesia yang berada di atas lempeng vulkanik Eurasia-Australia-Pasifik (*Ring of fire*) menjadikan Indonesia memiliki deposit bahan galian mineral non-logam yang melimpah. Aktivitas-aktivitas vulkanik yang terjadi sejak dulu membentuk endapan geologi berumur tersier hingga kuartar berupa batuan beku, sedimen, metamorf dan piroklastik hingga saat ini.

Batuan beku merupakan batuan yang terbentuk sebagai akibat pembekuan magma dalam permukaan bumi (dalam batolit), pipa magma/kawah (*vent*), *sill*, *dike* (retas), dan di atas permukaan bumi. Batuan sedimen (endapan) merupakan batuan yang terbentuk sebagai akibat pengendapan material yang berasal dari pecahan, bongkahan batu yang hancur karena proses alam, kemudian terangkut oleh air, angin, es, dan terakumulasi dalam suatu tempat (cekungan), kemudian termampatkan/kompaksi menjadi suatu lapisan batuan baru. Batuan sedimen dapat berupa sedimen batuan beku, sedimen organik, dan sedimen kimia. Batuan metamorf berasal dari batuan beku dan batuan sedimen yang termalihkan (mengalami perubahan) di dalam bumi sebagai akibat tekanan dan temperatur sangat tinggi yang mengakibatkan perubahan sifat fisika dan kimia dari batuan asal (Malik, Yakub. 2012). Batuan piroklastik berasal dari endapan produk erupsi gunung api seperti obsidian, scoria, andesitik, basaltik, dan *pumice* (batu apung).

Batuan-batuan alam secara umum tersusun dari senyawa-senyawa kimia berupa mineral oksida seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , CaO , Na_2O , TiO_2 , serta MgO yang menyatu membentuk komposit alam. Komposit didefinisikan sebagai suatu material yang terbentuk dari dua atau lebih material pembentuk yang memiliki sifat fisika dan kimia berbeda, bercampur menjadi satu membentuk material baru yang memiliki sifat yang lebih unggul dari material-material pembentuknya. Sifat fisika dan kimia material-material pembentuk tidak mengalami perubahan karena tidak terjadi reaksi secara kimiawi. Ikatan yang terbentuk dalam material komposit disebabkan karena adanya gaya adesi dan

kohesi antar permukaan material pembentuk. Dengan demikian, batuan alam sebagai komposit alam memiliki komposisi senyawa kimia yang memiliki fasa-fasa yang berbeda.

Batu apung merupakan salah satu batuan endapan hasil erupsi gunung api. Sebagai salah satu batuan alam, batu apung juga tersusun dari mineral-mineral oksida. Gunduz, L (2005) dalam Osman, I (2010), mengungkapkan bahwa batu apung didominasi oleh mineral silika (SiO_2) dengan persentase 48% - 70%. Persentase komposisi mineral-mineral oksida yang terkandung dalamnya dan struktur ikatan (struktur mikro) komposisinya, menentukan karakteristiknya secara fisika dan kimia. Hal ini berkaitan dengan potensi-potensi pemanfaatannya dalam kehidupan sehari. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan karakteristik batu apung Lombok dan pada tahap selanjutnya menentukan aplikasi-aplikasi lebih lanjut dari material alam batu apung.

1.2. Perumusan Masalah

Penelitian ini mengkaji karakteristik material batu apung sebagai salah satu material komposit alam. Dalam penelitian ini, permasalahan yang akan dikaji adalah performa sifat fisika (densitas, porositas dan ukuran diameter luas penampang pori), nilai komposisi kimia, kekerasan (*hardness*), dan tampilan mikrografi SEM komposit alam batu apung.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan :

1. Mendapatkan sifat fisika (densitas, porositas, dan volume spesifik pori) batu apung
2. Mendapatkan sifat *hardness* dan persentase komposisi kimia batu apung
3. Mendapatkan tampilan mikrografi SEM batu apung dan pengaruhnya terhadap sifat material batu apung.

1.4. Batasan Masalah

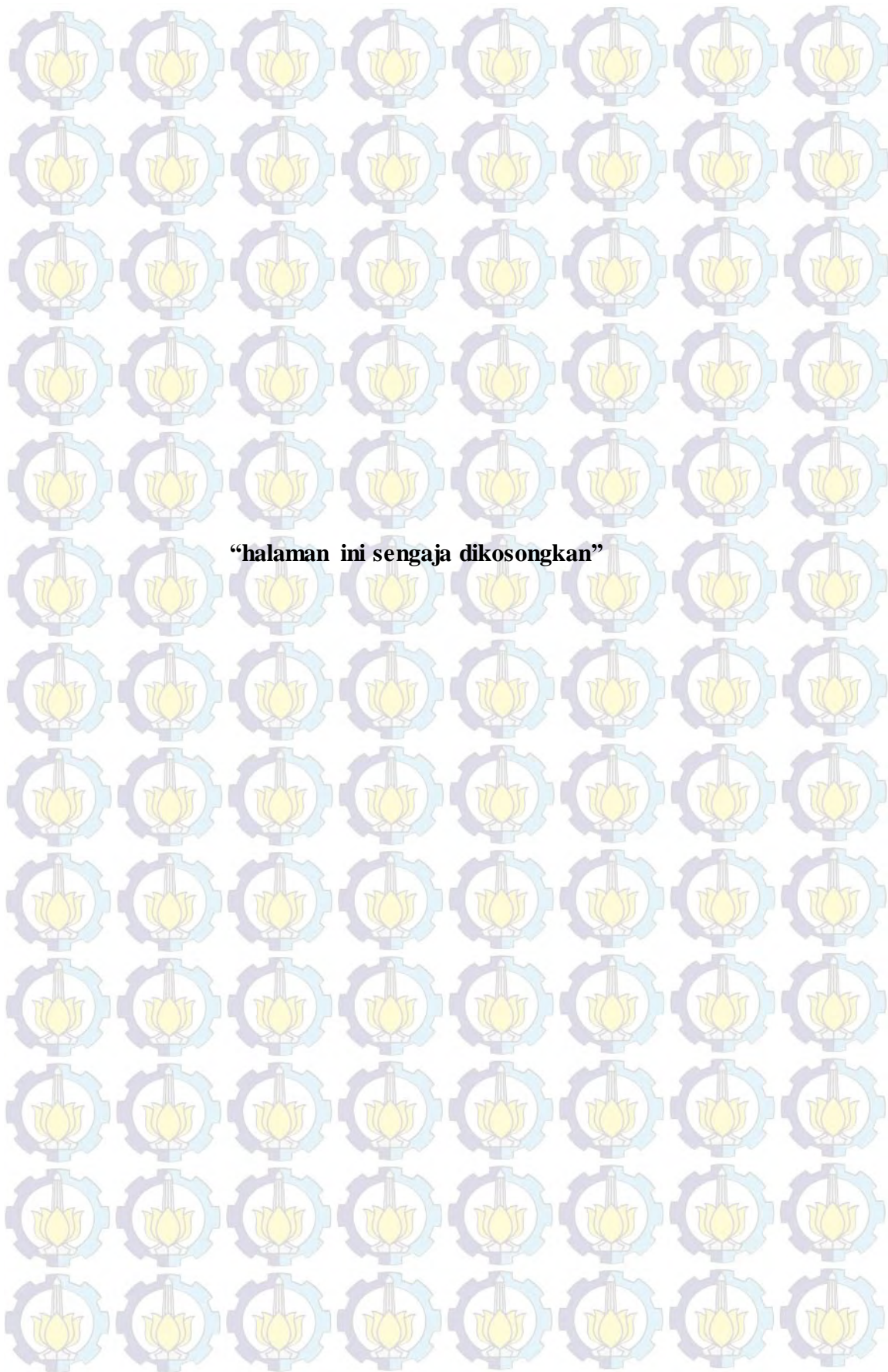
Batasan masalah dalam penelitian ini adalah material batu apung yang digunakan merupakan batu apung dari pulau Lombok NTB. Sampel batu apung

diambil dari tiga lokasi yaitu Desa Ijobalit Kec. Labuhan Haji, Desa Lendang Nangka Kec. Masbagik, Kab. Lombok Timur dan Desa Karang Sidemen Kec. Batukliang Utara Kab. Lombok Tengah. Sampel diambil dari kedalaman galian $\pm 0,3$ meter dan $\pm 3,0$ meter dari permukaan tanah.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Memberikan informasi mengenai sifat fisika (densitas, porositas dan volume spesifik pori), tingkat kekerasan material, komposisi kimia, dan struktur mikro batu apung
2. Memberikan gambaran tentang potensi aplikasi dari material komposit alam batu apung dalam kehidupan sehari-hari



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Deskripsi Batu Apung (*Pumice*)

Batu apung (*pumice*) merupakan jenis material alam yang berasal dari endapan material piroklastik hasil aktivitas vulkanik gunung api (Soekardi, M. 2004). Batuan ini memiliki struktur material bersel-sel (berstruktur selular) akibat adanya buih yang terbuat dari gelembung-gelembung berdinding gelas sehingga sering disebut sebagai batuan gelas vulkanik silikat (Ilter, O. 2010). Struktur sel-sel batuan ini tersusun memanjang dan paralel antara satu dengan yang lainnya dan terkadang saling terhubung yang menjadikan batuan ini memiliki porositas dan sifat vesikular yang tinggi.



Gambar 2.1 Batu apung

Menurut Sugiharto (1997) dalam Sutomo (1999), batu apung merupakan mineral alam yang berasal dari gunung berapi. Batu apung terbentuk akibat pendinginan secara cepat gas-gas dan material-material vulkanik.

2.1.1 Material Vulkanik Pembentuk Batu Apung

Material pembentuk batu apung merupakan material-material hasil erupsi gunung api yang telah mengalami pembekuan membentuk endapan piroklastik. Material-material produk erupsi gunung api tersebut berupa gas vulkanik, lava, dan material vulkaniklastik (Soekardi, M. 2004).

Gas vulkanik dikeluarkan dalam jumlah besar dengan gaya yang kuat pada saat terjadi erupsi. Gas-gas yang ke luar sebagian langsung tercampur dengan udara bebas dan ada yang terperangkap dalam lava. Gas-gas ini berupa campuran uap air, hidrogen, karbonmonoksida, karbondioksida, hidrogen sulfida, sulfur dioksida, sulfur trioksida, klorin dan asam klorida. Untuk mengidentifikasi gas-gas yang dikeluarkan suatu gunung api saat erupsi sangat sulit dilakukan, karena biasanya gas-gas tersebut telah bereaksi dengan udara. Namun dari baunya dapat diperkirakan bahwa gas-gas yang dominan ke luar saat erupsi adalah gas-gas belerang seperti SO_2 dan H_2S

Lava adalah magma yang keluar dari permukaan bumi. Tingkat keenceran lava akan mempengaruhi morfologi dari aliran lava yang terbentuk. Lava dengan viskositas rendah akan meleleh dengan hamparan luas tapi tidak tebal. Lava yang agak kental pemekaran hamparan berjalan lambat sehingga penyebaran tidak begitu luas tapi sangat tebal. Lava kental akan membentuk morfologi “*volcanic dome*” yaitu penimbunan ke atas dari celah ke sisi tebing. Jika magmanya sangat kental akan membentuk “*plug dome*”. Aliran lava bisa terjadi jika lava yang keluar saat erupsi adalah lava encer atau sangat encer. Kadang-kadang pada aliran lava dijumpai suatu lapisan-lapisan yang dibentuk oleh adanya perbedaan fase pembekuan lava tersebut.

Vulkaniklastik merupakan seluruh material lepas yang dibentuk oleh proses fragmentasi, dihamburkan oleh berbagai macam agen transportasi, diendapkan pada berbagai lingkungan atau tercampur dengan fragmen non-vulkanik.

Material-material produk erupsi gunung api tersebut pada saat terjadi erupsi akan mengalir mengikuti topografi daratan. Pada titik tertentu, material-material tersebut akan terakumulasi dan membentuk suatu endapan piroklastik. Menurut Mc Phie *et al* (1993) endapan piroklastik adalah endapan vulkaniklastik primer yang tersusun oleh partikel (*piroklas*) terbentuk oleh erupsi yang eksplosif dan terendapkan oleh proses vulkanik primer (jatuhan, aliran, *surge*). Proses erupsi eksplosif yang terlibat dalam pembentukan endapan piroklastik meliputi tiga tipe utama yaitu : erupsi letusan magmatik,

erupsi freatik dan erupsi freatomagmatik. Ketiga tipe erupsi ini mampu menghasilkan piroklas yang melimpah yang berkisar dari abu halus ($< 1/16$ mm) hingga blok dengan panjang beberapa meter. Termasuk dalam tipe endapan piroklastik meliputi:

a. Piroklastik Aliran

Piroklastik aliran adalah aliran panas dengan konsentrasi tinggi, debu permukaan, mudah bergerak, berupa gas dan partikel terdispersi yang dihasilkan oleh erupsi vulkanik (Wright *et al* 1981, *vide* Mc Phie *et al* 1993). Fisher & Schmince (1984) menyebutkan bahwa piroklastik aliran adalah aliran densitas partikel-partikel dan gas dalam keadaan panas yang dihasilkan oleh aktifitas vulkanik. Aliran piroklastik melibatkan semua aliran pekat yang dihasilkan oleh letusan atau guguran lava baik besar maupun kecil. Piroklastik aliran memiliki sebaran tidak merata dan mengalami penebalan di bagian lembah. Endapan piroklastik aliran memiliki komposisi lapili scoria, andesitik, basaltik, dan pecahan gelas bertekstur pumice.

b. Piroklastik Jatuhan

Piroklastik yang dilontarkan secara ledakan ke udara sementara akan tersuspensi yang selanjutnya jatuh ke bawah dan terakumulasi membentuk endapan piroklastik jatuhan. Endapan merupakan produk dari jatuhan balistik dan konveksi turbulen pada erupsi kolom (Lajoie, 1984). Sebaran endapan piroklastik jatuhan mengikuti topografi daratan. Komposisinya didominasi oleh pumice, scoria, abu/debu, dan sedikit lapili.

c. Piroklastik Surge

Piroklastik surge adalah *ground hugging, dilute* (rasio partikel gas rendah), aliran particulate yang diangkut secara lateral di dalam gas turbulen (Fisher 1979 *vide* Mc Phie *et al* 1993). Piroklastik surge dibentuk secara langsung oleh erupsi freatomagmatik maupun freatik (*base surge*) yang sama dengan proses endapan piroklastik jatuhan. *Ground surge* dan

Ash-cloud surge asosiasi dengan piroklastik aliran. Komposisi endapan sama dengan komposisi endapan piroklastik aliran dan piroklastik jatuhan.

Tabel 2.1 Klasifikasi endapan piroklastik menurut ukuran pragmen (Schmince, 1981)

Ukuran butir	Deposit Piroklastik		Deposit Kaya Piroklastik	
	Tephra tak terkonsolidasi	Batuan piroklastik terkonsolidasi	Resedimen saat erupsi	Resedimen pasca erupsi
< 1/16 mm	Abu halus	Tufa halus	Resedimen batu lempung kaya abu	Tufa batuan lempung
1/16 – 2 mm	Abu kasar	Tufa kasar	Resedimen batu pasir kaya abu	Tufa batu pasir
2 – 64 mm	Lapili tephra	Batu Lapili (Tufa lapilli)	Resedimen batu lapili kaya piroklastik, resedimen batu apung dan batu litik lapili	Tufa breksi
> 64 mm	Tephra berbentuk blok-blok	Gumpalan (bomb presents), breksi piroklastik	Resedimen breksi kaya piroklastik, resedimen breksi batu resedimen batu apung dan breksi litik	

2.1.2 Proses Terbentuknya Batu Apung

Proses terbentuknya batu apung dimulai dari peristiwa letusan gunung api. Erupsi gunung api mengeluarkan material-material vulkanik berupa gas-gas vulkanik, lava, dan vulkaniklastik. Ketika gas-gas vulkanik, lava, dan vulkaniklastik muncul ke permukaan dan bersentuhan dengan udara bebas, material-material tersebut selanjutnya mengalir secara vertikal dan horizontal mengikuti topografi daratan. Pada waktu dan titik tertentu, material-material tersebut terakumulasi dan mengalami pengendapan.

Material piroklastik mengandung buih gelas alam dan gas-gas vulkanik yang mempunyai kesempatan untuk keluar (Ilter, O. 2010). Tetapi gas-gas tersebut tetap terperangkap karena lava mengalami pembekuan secara tiba-tiba. Proses pembekuan ini mengakibatkan terbentuknya gelembung berdinding gelas sehingga batuan endapan memiliki tekstur berpori-pori. *Pumice* berwarna putih abu-abu, kekuningan sampai merah, tekstur vesikuler dengan ukuran lubang yang bervariasi baik saling terhubung atau tidak satu sama lain atau tidak berstruktur skorius dengan lubang yang terorientasi. Kadang-kadang lubang tersebut terisi oleh zeolit atau kalsit (Supriadi R.A, dkk. 2010). Mineral-mineral yang terdapat dalam batu apung antara lain feldspar, kuarsa, obsidian, kristobalit, dan tridimit.

2.1.3 Karakteristik Batu Apung

Menurut Gunduz L (2005) dalam Ilter O (2010), batu apung dibedakan menjadi dua kategori, yaitu *Acidic characteristic pumice* dan *basaltic characteristic pumice*. Komposisi kimia kedua jenis batu apung tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2.2 Komposisi kimia *acidic* dan *basaltic pumice* (Ilter O, 2010)

Komposisi	Acidic pumice	Basaltic pumice
SiO ₂	70 %	45 %
Al ₂ O ₃	18 %	21 %
Fe ₂ O ₃	2.50 %	7 %
CaO	0.90%	11 %
MgO	0.60 %	7 %
Na ₂ O + K ₂ O	9.00 %	8 %

Tabel di atas menunjukkan bahwa *acidic pumice* memiliki kandungan silika lebih dominan dibandingkan dengan *basaltic pumice*. Hal ini berarti bahwa *acidic pumice* cukup potensial untuk produk material berbasis silika, dimana proses pemurnian silika dari *acidic pumice* lebih mudah dibandingkan dengan *basaltic pumice*. Secara umum, batu apung memiliki karakteristik seperti pada Tabel 2.3 dan 2.4.

Tabel 2.3 Sifat kimia batu apung (Ilter O, 2010)

Sifat Kimia	Keterangan
SiO ₂	45 % - 70%
Al ₂ O ₃	13% - 21 %
Fe ₂ O ₃	1% - 7 %
CaO	1% - 11 %
MgO	1% - 7 %
Na ₂ O + K ₂ O	8 % - 9%

Tabel 2.4 Sifat Fisika batu apung (<http://www.tekmira.esdm.go.id>)

Sifat Fisika	Keterangan
Hilang pijar (<i>loss of ignition</i>)	6 %
Bobot isi ruang	480 – 960 gr/cm ³
Peresapan air	16,67 %
Gravitasi Spesifik	0,8 gr/cm ³
Hantaran suara	rendah
Rasio kuat tekan terhadap beban	tinggi
Konduktivitas termal	rendah
Ketahanan terhadap api	s.d 6 jam

2.1.4 Penambangan Batu Apung

Batu apung merupakan bahan galian yang tersingkap dekat permukaan bumi dengan tingkat kekerasan relatif rendah. Oleh karena itu, penambangan dilakukan dengan tambang terbuka atau tambang permukaan dengan peralatan sederhana. Pemisahan terhadap pengotor dilakukan dengan cara manual. Pembuatan ukuran butir tertentu yang dikehendaki juga dapat dilakukan dengan pemecahan (*grinding*) dan pengayakan secara manual.

Proses penambangan batu apung secara garis besar ada tiga tahap, yaitu eksplorasi, penambangan, dan pengolahan. Eksplorasi berkaitan dengan penelusuran keterdapatan batu apung dengan mempelajari struktur geologi di area sekitar jalur gunung api. Penambangan berkaitan dengan penggalian area yang sudah dieksplorasi dan dipastikan sebagai lokasi keberadaan deposit batu apung. Pengolahan berkaitan dengan proses pemilahan (*sorting*), peremukan (*crushing*), memilah ukuran (*sizing*), dan pengeringan (*drying*). Proses penambangan batu apung dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.2 Skema penambangan batu apung dari hulu sampai hilir
(Supriadi R.A, dkk. 2010)

Di Indonesia, sebaran deposit batu apung berkaitan dengan rangkaian gunung api Kuarter hingga Tersier muda. Lokasi sebaran deposit batu apung tersebut antara lain :

1. Jambi (kab Sarko)
2. Lampung (sekitar kepulauan Karakatau khususnya di Pulau Panjang)
3. Banten (Kawah Danu, kab. Serang),
4. Jawa Barat (Kab Bandung, Cicurug kab. Sukabumi, Gunung Kiaraberes Bogor)
5. D.I Yogyakarta (Kulon Progo)
6. Nusa Tenggara Barat (Lombok Timur, Lombok Tengah, Lombok Barat)
7. Maluku (Rum, Gato, dan Tidore)

2.1.5 Potensi Aplikasi Batu Apung

Batu apung telah dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi. Bidang konstruksi merupakan salah satu sektor utama yang memanfaatkan batu apung sebagai bahan baku campuran dalam membuat beton ringan dan bata ringan. Ilter, O (2010) menjelaskan bahwa sektor-sektor yang menggunakan

batu apung sebagai salah satu bahan baku utama adalah sektor konstruksi, industri tekstil, sektor agrikultur, industri kimia, dan sektor teknologi.

Supriadi R.A, dkk (2010) menjabarkan penggunaan batu apung untuk sektor industri dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Industri pengguna, fungsi, dan drajad ukuran butir batu apung
(Supriadi R.A, dkk. 2010)

Industri	Kegunaan	Drajad ukuran butir
Cat	<ul style="list-style-type: none"> - Pelapis anti slip - Cat sekat akustik - Bahan pengisi cat tekstur - <i>Flattening agent</i> 	Kasar Kasar Halus – kasar Sangat halus
Kimia	<ul style="list-style-type: none"> - Media filtrasi - <i>Chemical carrier</i> - Pemacu korek api belerang 	Kasar Kasar Halus - kasar
Logam dan plastik	<ul style="list-style-type: none"> - Pembersih dan pemoles - <i>Vibratory and barrier finishing</i> - Pressure blasting - Electro-plating - Pembersih gelas dan kaca 	Sangat halus Sangat halus – sedang Sedang Halus Sangat halus
Komponder	<ul style="list-style-type: none"> - Bubuk sabun tangan - Pembersih gelas dan kaca 	Sedang Sangat halus
Kosmetik dan odol	<ul style="list-style-type: none"> - Pemoles dan penambal gigi - Pemerata kulit 	Halus Bubuk cair
Karet	<ul style="list-style-type: none"> - Bahan penghapus - Bahan cetakan 	Sedang Sangat halus
Kulit	<ul style="list-style-type: none"> - Untuk mengkilapkan 	Sedang
Kaca dan cermin	<ul style="list-style-type: none"> - Pemerosesan tabung TV - Pemoles dan pengkilap tabung TV - Bevel finishing - Penghalus potongan kaca 	Halus Halus Sangat halus Sangat halus
Elektronika	<ul style="list-style-type: none"> - Pembersih papan sirkuit 	Sangat halus
Tembikar	<ul style="list-style-type: none"> - Bahan pengisi 	Halus

Keterangan:

Kasar = 8 – 30 mesh, sedang = 30 – 100 mesh, halus = 100 – 200 mesh, sangat halus > 200 mesh.

2.2. Batu Apung Sebagai Komposit Alam

Komposit didefinisikan sebagai suatu material yang terbentuk dari dua atau lebih material pembentuk yang memiliki sifat fisika dan kimia berbeda, bercampur menjadi satu membentuk material baru yang memiliki sifat yang lebih unggul dari material-material pembentuknya. Batu apung merupakan komposit alam yang dibentuk oleh mineral-mineral oksida. Material komposit pada umumnya terdiri dari dua bagian besar bahan dasar, yaitu matrik dan *filler*. Bahan komposit tidak akan merubah struktur mikro dari bahan pembentuknya (dalam orde kristalin), tetapi secara keseluruhan material komposit memiliki sifat yang berbeda dari bahan dasarnya, karena adanya ikatan antar permukaan di antara matrik dan *filler*.

Matrik adalah material utama yang akan direkayasa sifatnya dengan menambahkan secara homogen material penguat. Hal ini berarti setiap bagian dari matrik akan bercampur sempurna dengan *filler*. Sedangkan *filler* merupakan material penguat yang ditambahkan dalam matrik. *Filler* tidak hanya menyempurnakan struktur matrik, tetapi juga digunakan untuk merubah sifat fisik, seperti modulusnya dan konduktivitas panas (*thermal*). Syarat-syarat tertentu yang harus dipenuhi agar terbentuk komposit antara lain:

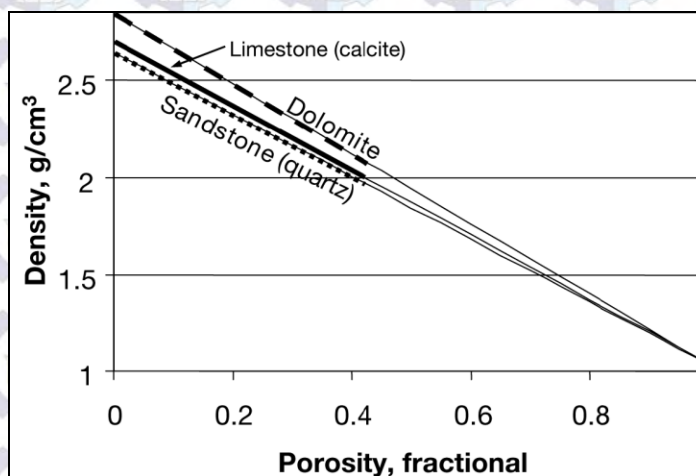
1. Komponen penguat (*filler*) harus memiliki modulus elastis yang lebih tinggi dibandingkan dengan komponen matriknya.
2. Harus ada ikatan antar permukaan yang kuat antara komponen filler dengan komponen matrik.

2.3. Densitas dan Porositas

Densitas merupakan sifat fisis yang menggambarkan kerapatan ikatan material-material penyusun batuan. Tingkat densitas batuan dipengaruhi oleh: (1) Jenis dan jumlah mineral serta persentasenya, (2) Porositas batuan, dan (3) Fluida pengisi rongga. Densitas batuan meliputi densitas asli (*natural density*) yaitu densitas batuan dalam keadaan aslinya, densitas kering (*dry density*) yaitu densitas batuan dalam keadaan susut setelah batuan dipanaskan, dan densitas jenuh

(*saturated density*) yaitu densitas batuan dalam keadaan jenuh setelah batuan dijenuhkan dalam suatu fluida.

Porositas batuan merupakan rasio volume rongga-rongga pori terhadap volume total seluruh batuan yang dinyatakan dalam persen. Suatu batuan dikatakan memiliki porositas efektif apabila bagian rongga-rongga dalam batuan saling berhubungan dan biasanya lebih kecil dari rongga-rongga pori. Ada dua jenis porositas yang dikenal dalam teknik reservoir, yaitu porositas absolut merupakan rasio volume pori-pori total batuan terhadap volume total batuan dan porositas efektif merupakan rasio volume pori-pori yang saling berhubungan terhadap volume total batuan. Perbedaan dari kedua jenis porositas tersebut hanya untuk memudahkan dalam mengidentifikasi jenis porositas.



Gambar 2.3 Grafik hubungan antara densitas dengan porositas pada *limestone*, *dolomite*, dan *sandstone* (<http://petrowiki.org>)

2.4. Kekerasan (*Hardness*)

Kekerasan (*hardness*) didefinisikan sebagai ketahanan bahan terhadap penetrasi pada permukaannya. Kekerasan suatu material menyatakan kemampuan material tersebut untuk menahan deformasi plastis. Dengan demikian, dapat diperkirakan bahwa terdapat hubungan antara kekerasan dan kekuatan bahan.

Pengujian kekerasan adalah salah satu bentuk pengujian material yang sangat penting dalam pemilihan bahan karena dapat menentukan karakteristik material hasil yang diinginkan. Dalam pengujian kekerasan terdapat beberapa

metode pengujian yang biasa digunakan yaitu metode Brinnell, Vickers, dan Rockwell. Metode-metode pengujian kekerasan tersebut disesuaikan berdasarkan dengan jenis bahan, kekerasan, ukuran dan lain-lain.

Uji kekerasan Brinnell berupa pembentukan lekukan pada permukaan material (logam) memakai bola baja yang ditekan dengan beban tertentu. Beban diterapkan selama waktu tertentu dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop setelah beban tersebut dihilangkan. Permukaan yang akan dibuat lekukan harus relatif halus, rata dan bersih dari debu atau kerak. Uji kekerasan Vickers menggunakan indenter piramida intan yang pada bagian dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antar permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Uji kekerasan Rockwell memiliki prinsip mirip dengan Brinnell, dimana angka kekerasan yang diperoleh merupakan fungsi derajat indentasi. Beban dan indenter yang digunakan bervariasi tergantung pada kondisi pengujian. Berbeda dengan pengujian Brinnell, indenter dan beban yang digunakan lebih kecil sehingga menghasilkan indentasi yang lebih kecil dan lebih halus. Pada penelitian ini, metode pengujian kekerasan yang digunakan adalah metode Vickers.

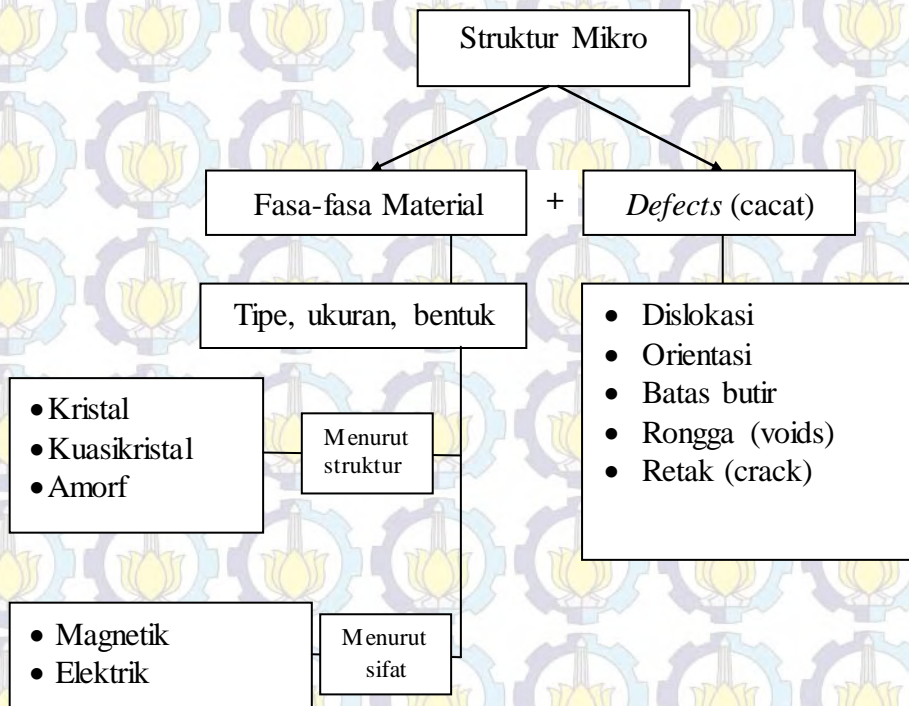
2.5. Struktur Mikro

Mikrografi berasal dari kata mikro yang berarti sangat kecil, dan grafi yang berarti gambar. Secara istilah mikrografi merupakan suatu teknik untuk memperoleh gambar pencitraan yang memperlihatkan fasa dari sebuah material seperti logam dan paduannya, sehingga dapat diketahui sifat dan karakteristik dari material logam tersebut. Adapun manfaat dari pengamatan struktur mikro ini adalah:

1. Mempelajari hubungan antara sifat-sifat bahan dengan struktur dan cacat pada bahan.
2. Memperkirakan sifat bahan jika hubungan tersebut sudah diketahui.

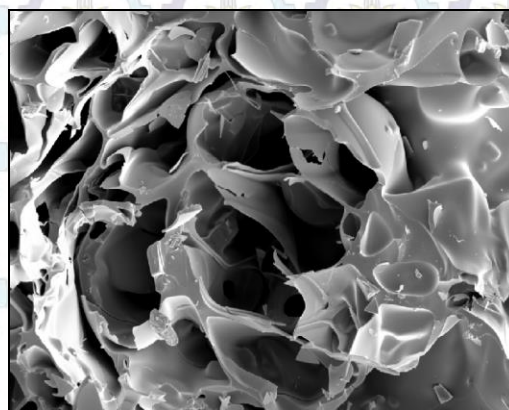
Langkah-langkah untuk melakukan pengamatan struktur mikro adalah pemotongan material menjadi ukuran yang kecil kurang lebih seukuran 10mm x 10mm x 10mm, selanjutnya dilakukan pengujian struktur mikro. Pemeriksaan struktur mikro memberikan informasi tentang bentuk struktur, ukuran butir dan

banyaknya bagian struktur yang berbeda. Secara rinci cakupan struktur mikro material seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Cakupan mikrofografi material

Tampilan mikrofografi SEM batu apung (*pumice*) seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Mikrofografi SEM batu apung

(<http://epmlab.uoregon.edu/>)

2.6. Software Image-J

Image-J merupakan software gratis yang dapat didownload dari <http://rsb.info.nih.gov/ij/>. Software ini berbasis java yang dikembangkan oleh *National Institutes of Health* (NIH) dengan kegunaan untuk menganalisis gambar seperti mikrofografi SEM. Perangkat lunak yang telah diunduh dapat diinstal ke komputer dengan menjalankan paket program tersebut. Ada dua macam versi yang dapat diunduh melalui alamat tersebut yaitu versi-32 bit dan versi-64 bit. Image-J dapat di-*upgrade* versi terbarunya dengan cara membuka Image-J lalu mengklik *Help* > *Update* atau dengan cara membuka link <http://rsb.info.nih.gov/ij/upgrade/> (Kurniawan, C, dkk. 2015).

Dalam proses menganalisis mikrofografi SEM dengan software ini, ada tiga tahapan penting yang harus dilakukan, yaitu tahap persiapan gambar asli yang akan dianalisis, tahap *threshold* warna pada gambar, dan tahap analisis gambar hasil *threshold* warna. Tahap persiapan gambar asli meliputi penyesuaian skala gambar yang tampak pada software *Image-J* dengan skala acuan gambar SEM dan memilih bagian gambar yang diinginkan dengan *cropping* bagian gambar yang dipilih. Penyesuaian skala gambar dilakukan karena skala gambar pada software *Image-J* dalam satuan pixel sehingga harus disesuaikan dengan skala acuannya. *Cropping* gambar dilakukan untuk mendapatkan luasan gambar yang distribusi partikel atau porinya lebih merata.

Tahap *threshold* warna merupakan tahap segmentasi warna gambar dimana kegiatan pada tahap inilah yang paling kritis dan menentukan hasil analisis. Pada tahap ini, segmentasi warna dibedakan menjadi warna partikel atau pori dan warna latar belakang (*background*). Ukuran luasan kedua warna tersebut dapat diatur dengan menurunkan atau menaikkan nilai ukuran warna. Kegiatan ini menuntut kejelian dan ketelitian dalam membuat ukuran warna partikel dan warna *background* berdasarkan tampilan tekstur mikrofografi SEM.

Tahap analisis gambar adalah tahap akhir dalam kegiatan analisis, dimana gambar yang sudah di-*setting* ukuran warnanya dianalisis ukuran warna partikel atau pori-nya menggunakan fitur *Analyze Particles*. Partikel atau pori yang teranalisis akan mendapatkan nomor dan luasannya akan muncul dalam data *excel*. Dengan software *Image-J* diperoleh jumlah pori yang teranalisis dan luasan

total pori yang teranalisis. Sehingga porositas dapat dihitung dengan persamaan:

$$\phi = \frac{A_p}{A_{total}} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan A_p adalah luasan pori total yang teranalisis dari permukaan mikrografi SEM sampel dengan Image-J dan A_{total} adalah luasan total mikrografi SEM sampel yang dianalisis.

BAB 3

METODE PENELITIAN

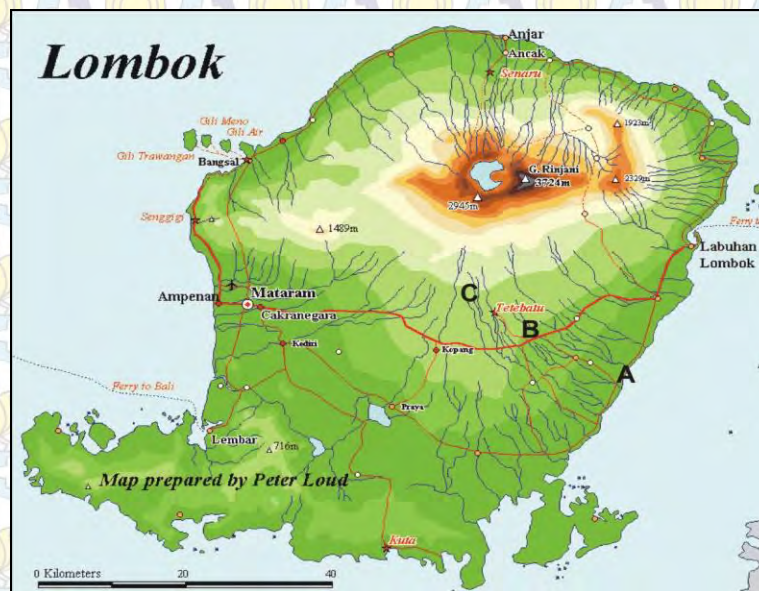
3.1. Peralatan dan Lokasi Pengambilan Sampel

3.1.1 Peralatan

Dalam penelitian ini, peralatan yang digunakan untuk membuat ukuran sampel dan perlakuan pengujian adalah pemotong besi, penggaris, *cutter*, amplas dan pemanas *furnace tube*. Sedangkan peralatan yang digunakan untuk karakterisasi sampel adalah seperangkat alat ukur massa dengan metode Archimedes, seperangkat alat uji Vickers, *X-Ray Fluorescence* (EDX), dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

3.1.2 Lokasi Pengambilan Sampel

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu apung yang diambil di desa Ijobalit Kec. Labuhan Haji, desa Lendang Nangka Kec. Masbagik, Kab. Lombok Timur dan desa Karang Sidemen Kec. Batukliang Utara Lombok Tengah. Kedalaman galian $\pm 0,3$ meter dan $\pm 3,0$ meter dari permukaan tanah. Lokasi penggalian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Peta lokasi pengambilan sampel batu apung di Lombok A. Desa Ijobalit, B. Desa Lendang Nangka, C. Desa Karang Sidemen (<https://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Lombok.gif>)

Ketinggian ketiga lokasi tersebut dari permukaan laut sebagai berikut.

1. Lokasi A adalah desa Ijobalit Kec. Labuhan Haji Lombok Timur memiliki ketinggian 0 – 30 meter dari permukaan Laut
2. Lokasi B adalah desa Lendang Nangka Kec. Masbagik Lombok Timur memiliki ketinggian 300 – 500 meter dari permukaan laut
3. Lokasi C adalah desa Karang Sidemen Kec. Batukliang Utara Lombok Tengah memiliki ketinggian 500 – 1000 meter dari permukaan laut

3.2. Prosedur Penelitian

Batu apung diambil dari pulau Lombok. Material batu apung dibersihkan dengan aquades. Selanjutnya, batu apung dikeringkan secara alami dengan sinar matahari. Proses selanjutnya membuat bentuk sampel dengan ukuran berdasarkan pada alat-alat karakterisasi.

1. Uji densitas dan porositas dengan metode Archimedes, ukuran sampel \pm (2,0 cm x 1,5 cm x 0,5 cm)
2. Uji komposisi kimia dengan XRF, sampel dibuat dalam bentuk serbuk
3. Uji kekerasan (hardness) dengan metode Vickers ukuran sampel \pm (1,0 cm x 1,0 cm x 1,0 cm)
4. Uji SEM ukuran sampel \pm (1,0 cm x 1,0 cm x 1,0 cm)

3.3. Karakterisasi Material

3.3.1 Pengujian dengan Metode Archimedes

Pada metode Archimedes, besaran massa yang akan diukur adalah massa percontoh asli (m_n), massa percontoh kering (m_o), massa percontoh jenuh (m_w), massa (bejana+ air+sampel tenggelam) (m_a) dan massa (bejana+air+sampel tergantung di air) (m_b). Tahapan pengujian densitas dan porositas dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Menyiapkan sampel uji, ukuran sampel \pm (2 cm x 1.5 cm x 0.5 cm)
2. Menyiapkan neraca digital, gelas beaker 250 ml, gelas plastik, kawat, benang dan air
3. Mengukur massa asli, massa kering setelah sampel dipanaskan dengan suhu 200 °C selama \pm 2 jam

4. Mengukur massa jenuh setelah sampel direndam dalam air selama ± 48 jam
5. Menimbang berat (bejana+air+sampel tenggelam) dan berat (bejana + air + sampel tergantung di dalam air)
6. Melakukan perhitungan berdasarkan data-data yang diperoleh dari penelitian ini antara lain:

- a. Berat percontoh jenuh dalam air

$$m_s = m_a - m_b \quad (\text{gram}) \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

- b. Volume percontoh tanpa pori

$$V_p = \frac{m_o - m_s}{\rho_{air}} \quad (\text{cm}^3) \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

- c. Volume percontoh total

$$V_b = \frac{m_w - m_s}{\rho_{air}} \quad (\text{cm}^3) \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

- d. Berat isi asli (*natural density*)

$$\gamma = \frac{m_n}{V_b} \quad (\text{gram/cm}^3) \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

- e. Berat isi kering (*dry density*)

$$\gamma = \frac{m_o}{V_b} \quad (\text{gram/cm}^3) \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

- f. Berat isi jenuh (*saturated density*)

$$\gamma = \frac{m_w}{V_b} \quad (\text{gram/cm}^3) \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

- g. Berat jenis (*Specific Gravity*)

$$\gamma = \frac{m_o / V_p}{\rho_{air}} \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

- h. Kadar air jenuh (%)

$$W_{content} = \frac{m_w - m_o}{m_o} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

- i. Porositas

$$n = \frac{m_w - m_o}{m_w - m_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

- j. Massa air terserap (massa pori total)

$$m_{air} = m_w - m_o \text{ (gram)} \dots\dots\dots (3.10)$$

- k. Volume pori spesifik

$$V_{spesifik} = \frac{(m_w - m_o)}{\rho_{air}} \text{ (cm}^3\text{/gram)} \dots\dots\dots (3.11)$$

7. Menganalisis data hasil perhitungan

3.3.2 Pengujian dengan X-Ray Fluorescence (XRF)

Pengujian XRF dilakukan untuk menganalisis unsur atau komposisi kimia dari sampel. Teknik ini digunakan untuk mengukur unsur-unsur yang banyak terdapat dalam batuan atau mineral. Prinsip kerja pada XRF adalah sinar-X dari tabung pembangkit terpancar dan berinteraksi dengan elektron yang berada di kulit unsur. Elektron yang berada di kulit K akan memiliki energi kinetik yang cukup untuk melepaskan diri dari inti sehingga elektron itu akan terpental keluar. Pada penelitian ini, uji XRF dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material FMIPA Universitas Negeri Malang.



Gambar 3.2. Seperangkat peralatan uji *X-Ray Fluorescence* (XRF)

3.3.3 Pengujian dengan Metode Vickers

Pengujian mikrohardeness Vickers menggunakan indenter piramida intan yang berbentuk bujur sangkar. Indenter diberi beban untuk menekan permukaan bahan uji. Pada permukaan bahan uji yang ditekan indenter akan meninggalkan bekas tekanan, dimana bekas tekanan ini berbentuk sudut antar permukaan indenter yang saling berhadapan dengan sudut sebesar 136° . Sudut yang dihasilkan ini menjadi variabel dalam menghitung angka kekerasan Vickers.

Angka kekerasan vickers didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$VHN = \frac{2P \sin(\theta/2)}{d^2} = \frac{(1.854)P}{d^2} \dots\dots\dots (3.12)$$

dengan: P = beban yang digunakan (kg)

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = sudut antara permukaan indenter yang berhadapan = 136°



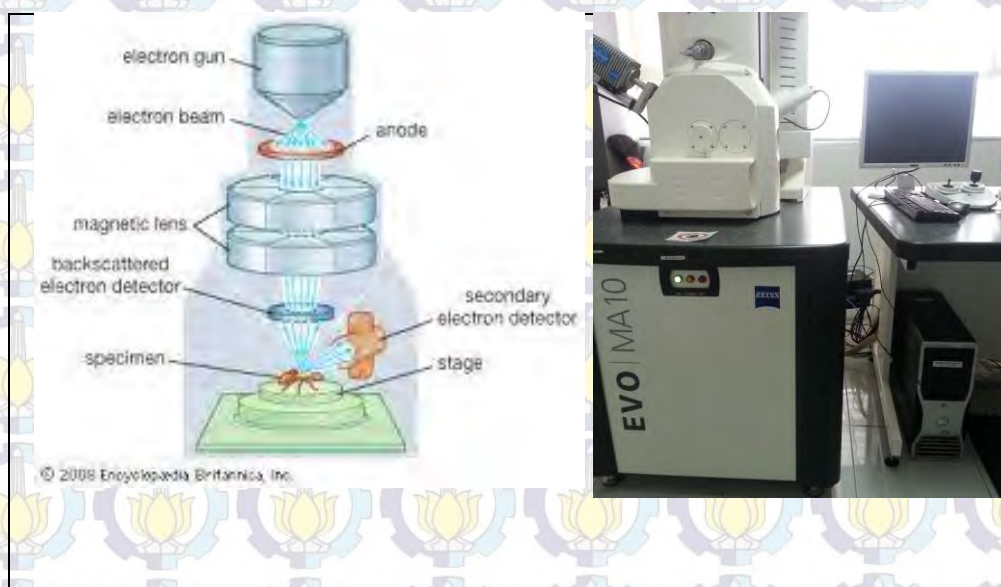
Gambar 3.3 Seperangkat alat uji Vickers Mitutoyo HM-2000

3.3.4 Pengujian dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bentuk morfologi, topografi dan struktur mikro material. Prinsip kerja SEM yaitu bermula dari *electron beam* yang dihasilkan oleh sebuah filamen pada *electron gun*. Pada umumnya *electron gun* yang digunakan adalah *tungsten hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan *tungsten* yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan diberikan kepada lilitan yang mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda.

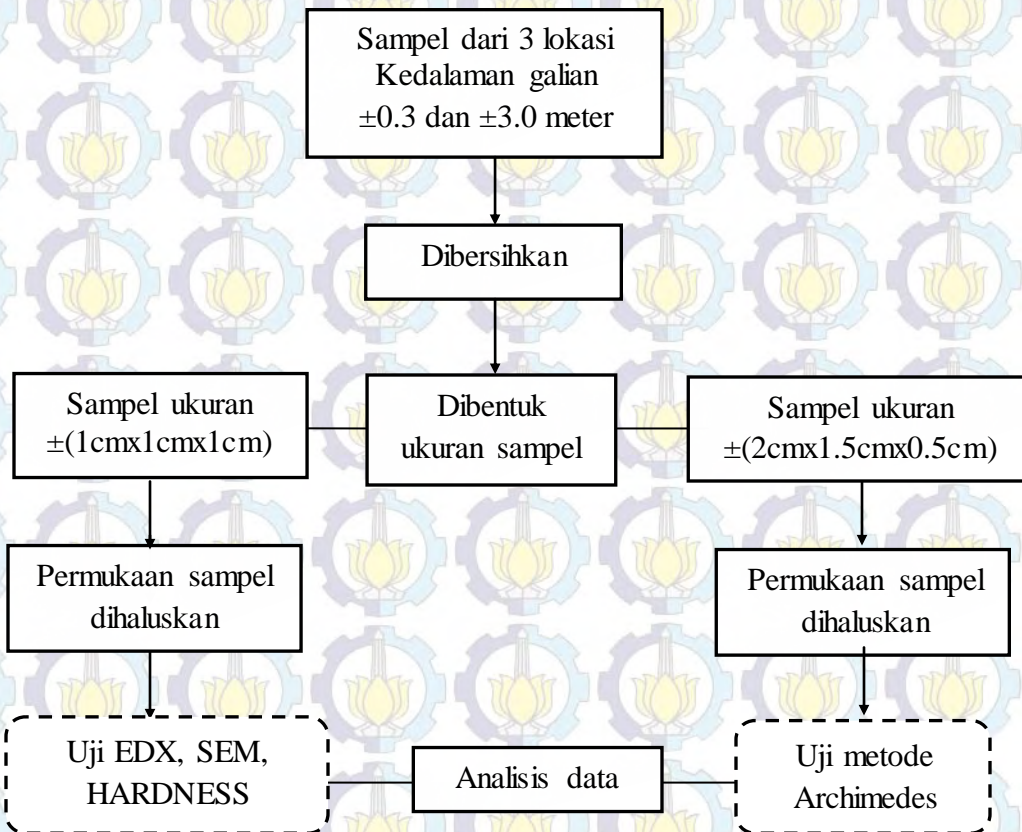
Kemudian *electron beam* difokuskan ke suatu titik pada permukaan sampel dengan menggunakan dua buah *condenser lens*. *Condenser lens* kedua (atau biasa disebut dengan lensa objektif) memfokuskan *beam* dengan diameter yang sangat kecil, yaitu sekitar 10-20 nm. Hamburan elektron, baik *Secondary Electron (SE)* atau *Back Scattered Electron (BSE)* dari permukaan sampel akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada layar CRT.

Pada penelitian ini, pengujian SEM dilakukan dengan instrument SEM Zeiss EVO MA10 di Laboratorium Energi LPPM ITS.



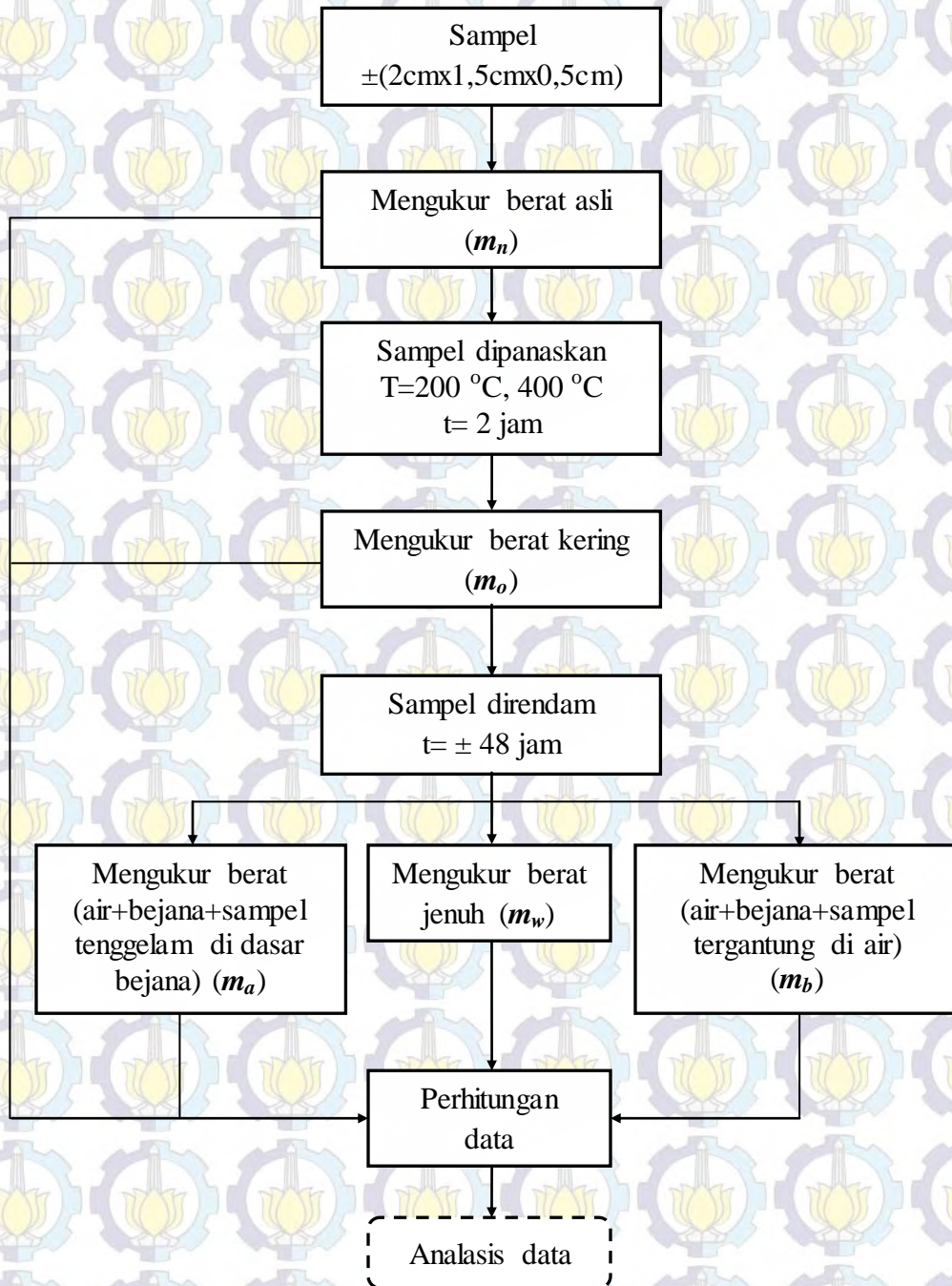
Gambar 3.4 *Scanning Electronic Microscope* (SEM) (a) Prinsip Kerja SEM (b) Seperangkat Instrumen SEM

3.4. Diagram Alir Penelitian



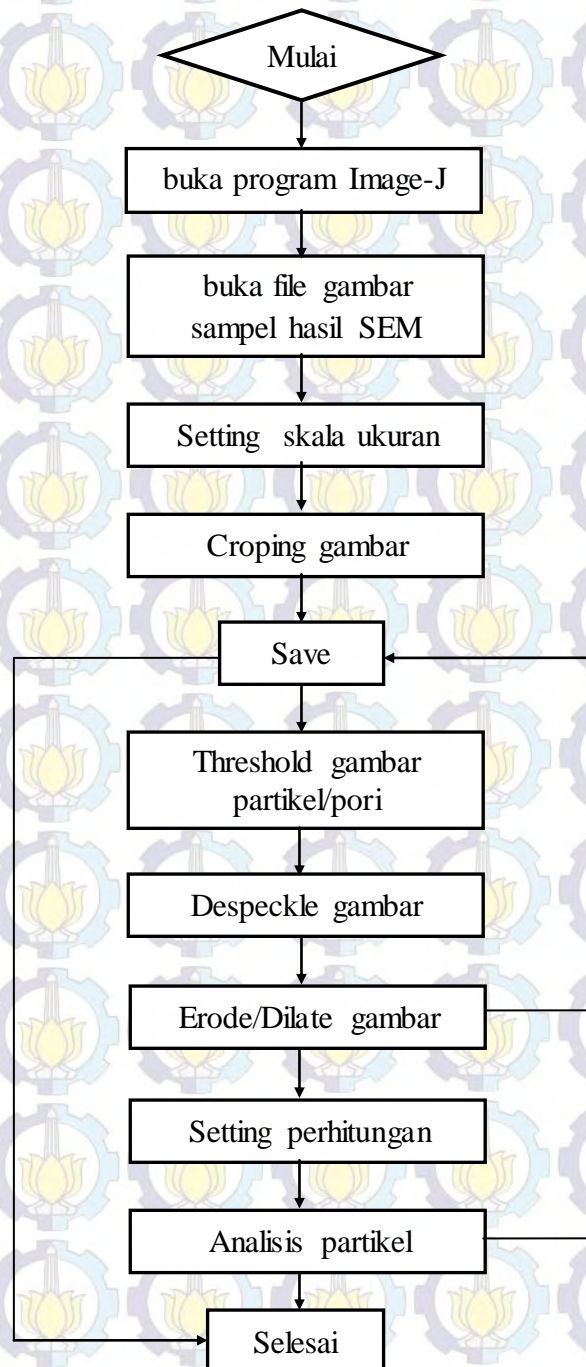
Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

3.4.1 Diagram Alir Uji dengan Metode Archimedes



Gambar 3.6 Diagram alir pengujian dengan metode Archimedes

3.4.2 Diagram Alir Analisis Mikrogafi SEM dengan Software Image-J



Gambar 3.7 Diagram alir analisis gambar SEM dengan software Image-J



“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sifat Fisis

Pada penelitian ini, sifat fisis yang dikaji adalah densitas, porositas, dan volume pori spesifik dari batu apung Lombok dengan sampel yang diambil dari tiga lokasi pada kedalaman galian $\pm 0,3$ m dan $\pm 3,0$ m dari permukaan tanah. Pengujian dilakukan dengan metode Archimedes di Laboratorium karakterisasi zat padat Jurusan Fisika ITS. Sampel-sampel dalam pengujian ini dibuat dengan ukuran $\pm (2,0 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm})$. Data pengukuran yang diperoleh dari kegiatan ini berupa nilai massa percontoh asli, massa percontoh kering dengan suhu pemanasan 200°C selama ± 2 jam, massa percontoh jenuh dengan waktu rendaman selama ± 48 jam, massa (sampel tenggelam+air+bejana), dan massa (sampel tergantung di air+ air+bejana). Data hasil perhitungan berupa berat isi asli (*natural density*), berat isi kering (*dry density*), berat isi jenuh (*saturated density*), berat jenis (*specific gravity*), kadar air, drajad kejenuhan, porositas, dan volume pori spesifik (lampiran 1).

4.1.1 Analisis Nilai Densitas

Nilai densitas suatu batuan berkaitan dengan seberapa rapat material penyusun membentuk batuan tersebut. Pada subbab ini, nilai densitas batu apung yang akan dianalisis adalah densitas asli yaitu densitas material batu apung dalam keadaan natural-nya, densitas kering yaitu densitas batu apung setelah dipanaskan dengan suhu pemanasan 200°C selama ± 2 jam, dan densitas jenuh yaitu densitas batu apung setelah direndam selama ± 48 jam dalam aquades.

Pengujian dilakukan pada suhu pemanasan 200°C selama ± 2 jam dengan dua sampel untuk tiap lokasi kedalaman galian batu apung. Pada tiap lokasi sampel diambil dengan kedalaman galian $\pm 0,3$ m dan $\pm 3,0$ m dari permukaan tanah. Ukuran sampel dari tiap lokasi dibuat sama yaitu $\pm (2,0 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm} \times 0,5 \text{ cm})$. Hasil pengukuran mendapatkan massa percontoh (asli dan

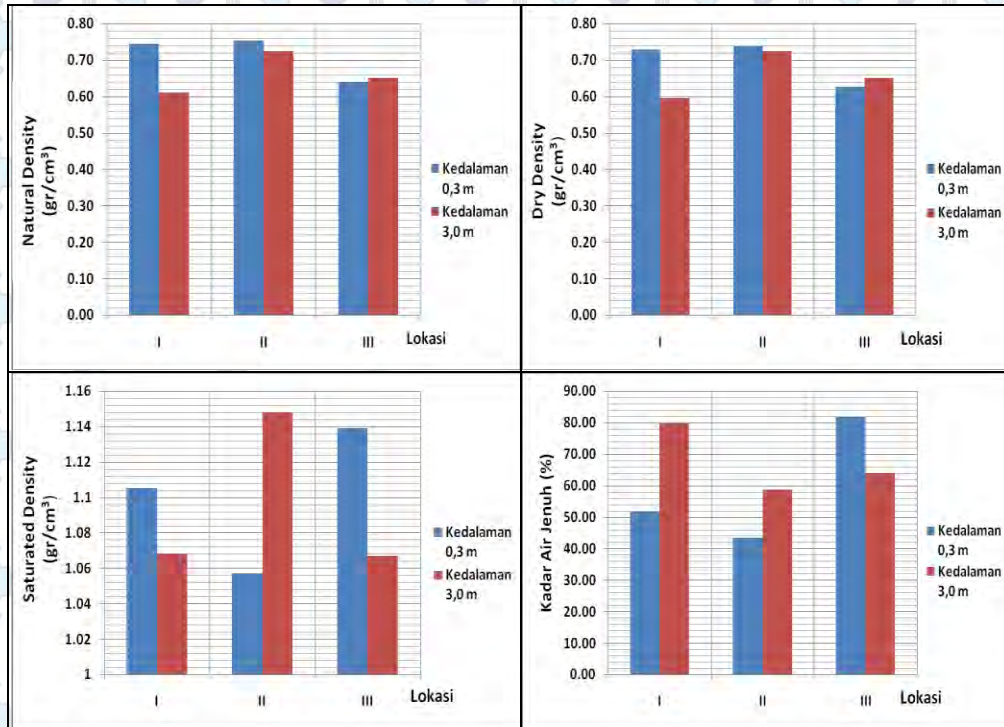
kering) untuk sampel dari lokasi I dan II bernilai lebih besar untuk sampel dari kedalaman galian $\pm 0,3$ m dibandingkan sampel dari kedalaman galian $\pm 3,0$ m. Pada lokasi III massa percontoh (asli dan kering) untuk sampel dari kedalaman galian $\pm 0,3$ m bernilai lebih kecil dibandingkan sampel dari kedalaman galian $\pm 3,0$ m. Nilai massa percontoh jenuh secara umum memperlihatkan keadaan yang sebaliknya dari nilai massa percontoh asli dan kering. Hal ini menunjukkan tingkat serapan material batu apung terhadap fluida. Dalam penelitian ini, hal yang akan dicermati lebih lanjut adalah kecenderungan nilai densitas (asli, kering, dan jenuh) dari batu apung Lombok untuk tiga lokasi pengambilan sampel dengan kedalaman galian $\pm 0,3$ m dan $\pm 3,0$ m dari permukaan tanah. Nilai densitas hasil perhitungan yang diperoleh dari pengujian ini seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian densitas batu apung Lombok dengan metode Archimedes

Lokasi / Kedalaman (m)		Densitas (gram/cm ³)			Kadar Air Jenuh (%)
		Asli	Kering	Jenuh	
I	$\pm 0,3$	0,745	0,729	1,105	51,57
	$\pm 3,0$	0,610	0,594	1,068	79,71
II	$\pm 0,3$	0,753	0,737	1,057	43,47
	$\pm 3,0$	0,736	0,724	1,148	58,62
III	$\pm 0,3$	0,640	0,627	1,139	81,72
	$\pm 3,0$	0,667	0,650	1,067	64,03

Hasil pengujian pada Tabel 4.1 memperlihatkan bahwa pada lokasi I dan II nilai densitas asli dan densitas kering untuk sampel dari kedalaman galian $\pm 0,3$ m bernilai lebih besar dibandingkan sampel dari kedalaman galian $\pm 3,0$ m. Pada lokasi III nilai densitas asli dan densitas kering sampel dari kedalaman galian $\pm 0,3$ m bernilai lebih kecil dibandingkan sampel dari kedalaman galian $\pm 3,0$ m. Keadaan ini konsisten dengan nilai massa percontoh hasil pengukuran. Nilai densitas jenuh merupakan densitas material yang terisi fluida secara maksimum. Hal ini berkaitan tingkat serapan material terhadap fluida yang dijelaskan oleh nilai kadar air jenuh material. Tabel 4.1 memperlihatkan bahwa nilai kadar air jenuh terendah dimiliki sampel dari lokasi II kedalaman galian $\pm 0,3$ m dan nilai kadar air tertinggi dimiliki oleh

sampel dari lokasi III kedalaman galian $\pm 3,0$ m dari permukaan tanah. Keadaan ini dapat dicermati lebih lanjut pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik nilai densitas dan kadar air jenuh batu apung Lombok dari tiga lokasi pengambilan sampel

Gambar 4.1 memperlihatkan informasi keadaan densitas dan tingkat kadar air jenuh batu apung dari ketiga lokasi pengambilan sampel. Dari gambar tersebut terlihat bahwa untuk sampel dari kedalaman galian yang sama, densitas asli dan densitas kering batu apung dari lokasi II lebih tinggi dibandingkan dengan densitas asli dan densitas kering batu apung dari lokasi I dan III. Pada sampel dari kedalaman $\pm 0,3$ m, densitas (asli dan kering) sampel dari lokasi II lebih besar dari densitas (asli dan kering) sampel dari lokasi I dan densitas (asli dan kering) sampel dari lokasi I lebih besar dari densitas (asli dan kering) sampel lokasi III. Pada sampel dari kedalaman $\pm 3,0$ m, densitas (asli dan kering) sampel dari lokasi II lebih besar dari densitas (asli dan kering) sampel dari lokasi III dan densitas (asli dan kering) sampel dari lokasi III lebih besar dari densitas (asli dan kering) sampel lokasi I. Keadaan ini terjadi berkaitan dengan proses terbentuknya batu apung dimana

lava dengan tingkat viskositas yang berbeda-beda memiliki lama waktu pembekuan yang berbeda-beda juga pada saat membentuk endapan piroklastik.

Sebagaimana telah diungkapkan pada Subbab 2.2.1, batu apung merupakan salah satu contoh endapan piroklastik hasil dari material-material erupsi gunung api. Tingkat viskositas lava mempengaruhi luasan sebaran aliran lava dan kecepatan beku lava ketika bersentuhan dengan udara di permukaan daratan. Hal ini memberikan gambaran bahwa lava yang berada di permukaan lebih cepat membeku (mengeras) dibandingkan dengan lava yang berada di bawahnya ketika membentuk fragmen-fragmen piroklastik pada proses pengendapan. (Fisher, 1984) menyatakan bahwa fragmen piroklastik merupakan fragmen “seketika” yang terbentuk secara langsung dari proses erupsi vulkanik. Material piroklastik saat dierupsikan gunung api memiliki sifat fragmental, dapat berwujud cair maupun padat. Dan setelah menjadi massa padat material tersebut disebut sebagai batuan piroklastik.

Untuk batu apung lokasi III dimana nilai densitas asli sampel dari kedalaman $\pm 0,3$ m lebih kecil dibandingkan sampel dari kedalaman $\pm 3,0$ m memberikan gambaran bahwa batu apung di lokasi yang lebih dalam memiliki tingkat mampat yang lebih tinggi. Hal ini terjadi karena faktor jarak lokasi III yang lebih dekat dengan sumber erupsi vulkanik (gunung Rinjani), dimana jarak mempengaruhi material-material dapat mengendap dan material-material yang masih mengalir bersama lahar (lava).

Parikel-partikel dalam lahar (lava) secara efektif dipisahkan oleh kepadatan dan ukuran, tetapi proses pemisahan yang terpenting adalah dimediasi oleh fraksi padat, jumlah partikel kasar, densitas fluida, dan jumlah partikel berbutir halus dalam suspensi (Vallace. J. W, 2000). Partikel-partikel batu apung yang memiliki densitas lebih rendah dari densitas air akan naik ke permukaan lava dan partikel-partikel yang memiliki densitas lebih besar dari densitas air seperti tanah liat, lumpur, dan butir-butir halus pasir akan turun ke dasar lava. Konsekuensinya, partikel-partikel yang densitasnya lebih kecil dari densitas air akan terakumulasi di permukaan lava dan membentuk ikatan material serta bergerak secara massal bersama aliran lava. Partikel-partikel

material pembentuk batu apung dengan ukuran sangat kecil (halus) akan terus mengalir mengikuti aliran lava sedangkan partikel-partikel yang kasar suatu ketika akan memiliki densitas lebih besar dari air hingga turun ke dasar lava dan mulai mengendap. Partikel-partikel material dengan ukuran sangat kecil (halus) tersebut akan mengendap di lokasi yang lebih jauh dari sumber erupsi dibandingkan dengan partikel-partikel yang kasar.

Selain itu, bersamaan dengan menurunnya aktifitas vulkanik, magma yang di erupsikan oleh gunung yang meletus juga berkurang. Menurunnya volume magma yang ke luar ini berpengaruh pada tingkat kecepatan aliran lava, dimana kecepatan aliran lava juga menurun. Penurunan kecepatan aliran lava ini berdampak pada semakin pendeknya jarak tempuh aliran lava hingga mengendap menutupi endapan lava yang lebih dulu ada di lokasi endapan.

Gambar 4.1 juga memperlihatkan bahwa nilai densitas jenuh batu apung Lombok yang tertinggi dimiliki oleh sampel dari lokasi II kedalaman galian $\pm 3,0$ m. Akan tetapi ini bukan berarti bahwa sampel tersebut memiliki tingkat serapan tertinggi terhadap fluida, karena sampel tersebut juga memiliki nilai densitas asli yang lebih besar dari sampel lain untuk kedalaman galian yang sama. Berkaitan dengan keadaan ini, lebih lanjut dapat dicermati grafik tingkat kadar air jenuh dari tiap sampel yang menunjukkan jumlah fluida yang mampu diserap oleh tiap sampel.

Berdasarkan grafik tingkat kadar air jenuh yang dimiliki tiap sampel dari ketiga lokasi pada Gambar 4.1 terlihat bahwa kadar air jenuh tertinggi dimiliki oleh sampel dari lokasi III kedalaman galian $\pm 0,3$ m. Hal ini menunjukkan bahwa sampel tersebut memiliki tingkat serapan tertinggi terhadap fluida. Selain itu, grafik tersebut juga memperlihatkan tingkat kadar air jenuh terendah yang dimiliki oleh sampel dari lokasi II kedalaman galian $\pm 0,3$ m menunjukkan bahwa sampel ini memiliki tingkat serapan terendah terhadap fluida. Secara umum keadaan tingkat kadar air jenuh tiap-tiap sampel batu apung Lombok berbanding terbalik dengan keadaan densitas aslinya. Semakin besar densitas asli batu apung Lombok, tingkat kadar air jenuhnya semakin kecil.

Dari uraian di atas dapat dikatakan bahwa densitas batu apung berkaitan dengan material-material penyusun dan struktur yang terbentuk. Struktur material penyusun batu apung dipengaruhi oleh proses-proses yang terjadi pada tahap pembentukan material, kandungan material hasil erupsi gunung api, kecepatan aliran lava, jarak lokasi pengambilan sampel dari sumber erupsi, ketinggian tempat endapan piroklastik berada, serta material baru yang terbawa hujan yang meresap ke dalam tanah dan mengendap dalam rentang waktu hingga ratusan tahun.

4.1.2 Analisis Nilai Porositas

Porositas material padat menunjukkan rasio volume rongga-rongga pori terhadap volume total seluruh material padat tersebut. Semakin besar porositasnya, semakin tinggi serapannya terhadap fluida. Volume pori spesifik merupakan perbandingan pori total sampel terhadap massa kering sampel. Pori total sampel ditunjukkan oleh jumlah massa fluida yang terserap oleh sampel.

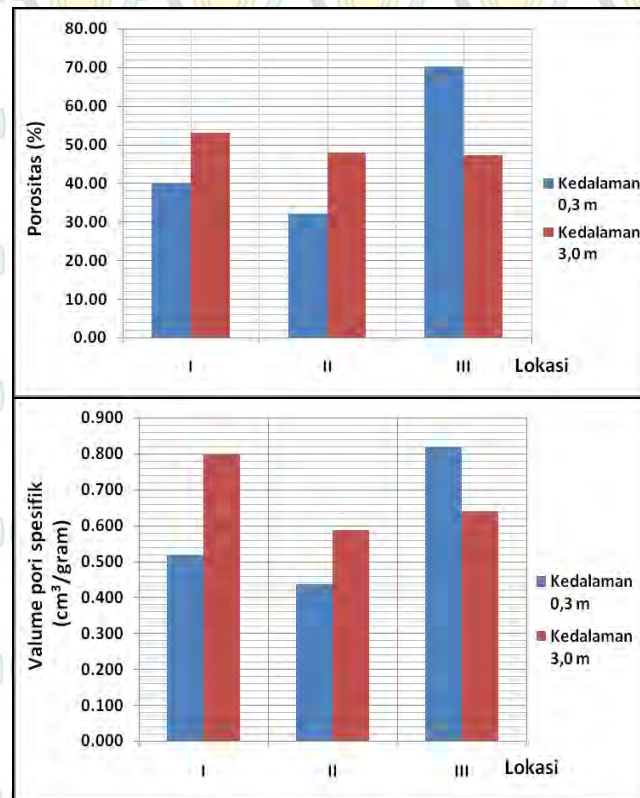
Pada penelitian ini nilai porositas dihitung berdasarkan data hasil pengukuran massa percontoh material (massa asli, massa kering, dan massa jenuh). Suhu pengeringan sampel sebesar 200 °C selama ± 2 jam dan waktu penjemuran material selama ± 48 jam. Dari pengujian ini diperoleh nilai porositas seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data nilai porositas batu apung Lombok hasil pengujian menggunakan metode Archimedes

Lokasi / Kedalaman (m)		Porositas (%)	Volume pori spesifik (cm ³ /gram)
I	$\pm 0,3$	37,61	0,516
	$\pm 3,0$	47,37	0,797
II	$\pm 0,3$	32,03	0,435
	$\pm 3,0$	42,43	0,586
III	$\pm 0,3$	51,20	0,817
	$\pm 3,0$	41,65	0,640

Berdasarkan data pada Tabel 4.2 terlihat bahwa pada lokasi I dan II sampel dari kedalaman galian $\pm 0,3$ m memiliki nilai porositas lebih kecil

dibandingkan sampel dari kedalaman galian $\pm 3,0$ m. Keadaan ini menginformasikan bahwa semakin dalam lokasi deposit batu apung semakin besar nilai porositasnya. Pada lokasi III, sampel dari kedalaman galian $\pm 0,3$ m memiliki nilai porositas lebih besar dibandingkan sampel dari kedalaman galian $\pm 3,0$ m. Hal ini menunjukkan bahwa pada lokasi III semakin dalam lokasi deposit batu apung semakin kecil nilai porositasnya. Fakta ini konsisten dengan nilai densitas yang diperoleh dari penelitian ini yang telah diungkapkan pada Subbab 4.1.1, dimana semakin besar nilai densitas, semakin kecil nilai porositasnya. Hal yang sama ditunjukkan juga oleh volume spesifik pori dari semua sampel. Keadaan data pada Tabel 4.2 dapat dicermati lebih lanjut pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik nilai porositas dan volume pori spesifik batu apung Lombok dengan variasi lokasi pengambilan sampel

Grafik nilai porositas terhadap variasi lokasi sampel pada Gambar 4.2 memperlihatkan keadaan yang sama dengan grafik tingkat kadar air jenuh terhadap variasi lokasi sampel pada Gambar 4.1. Dari Gambar 4.2 terlihat bahwa nilai porositas terendah dimiliki oleh sampel batu apung dari lokasi II

dengan kedalaman galian $\pm 0,3$ m dan nilai porositas tertinggi dimiliki oleh sampel batu apung dari lokasi III dengan kedalaman galian $\pm 0,3$ m. Hal ini memberikan gambaran bahwa sampel yang dekat dengan permukaan tanah memiliki nilai porositas terendah pada lokasi dengan ketinggian $\pm 300 - 500$ m dpl dan nilai porositas tertinggi pada lokasi dengan ketinggian $\pm 500 - 1000$ m dpl. Ukuran volume pori spesifik sampel juga menunjukkan hal yang sama. Faktor penyebab terjadinya keadaan ini telah diungkapkan pada Subbab 4.1.1.

Secara terperinci grafik pada Gambar 4.2 mengungkapkan bahwa untuk sampel pada kedalaman galian $\pm 0,3$ m nilai porositas sampel dari lokasi II lebih kecil dari nilai porositas sampel dari lokasi I dan nilai porositas sampel dari lokasi I lebih besar dari sampel dari lokasi III. Perbedaan nilai porositas ketiga lokasi untuk kedalaman galian ini juga cukup signifikan.

Keadaan yang berbeda ditunjukkan oleh sampel dari kedalaman 3,0 m dari permukaan tanah. Pada sampel dari kedalaman galian ini, porositas sampel lokasi III lebih kecil dari sampel lokasi II dan sampel lokasi I. Akan tetapi ukuran volume pori spesifik menunjukkan hal yang berbeda dimana volume pori spesifik lokasi II lebih kecil dari volume pori spesifik lokasi I dan III. Perbedaan porositas yang ditunjukkan oleh sampel dari kedalaman ini tidak signifikan.

4.2 Analisis Nilai Hardness (Sifat Mekanis)

Pada penelitian ini, sifat mekanis yang dikaji adalah sifat keras (*hardness*) dari batu apung Lombok. Pengujian dilakukan dengan metode Vickers menggunakan peralatan mikrohardness di Laboratorium energi LPPM ITS Surabaya. Ukuran sampel dibuat $\pm (1,0 \text{ cm} \times 1,0 \text{ cm} \times 1,0 \text{ cm})$. Pada setiap sampel dipilih satu permukaan untuk diuji tekan mikrohardness sebanyak 6 kali (lampiran 2). Dari pengujian ini diperoleh nilai hardness rata-rata seperti pada Tabel 4.3.

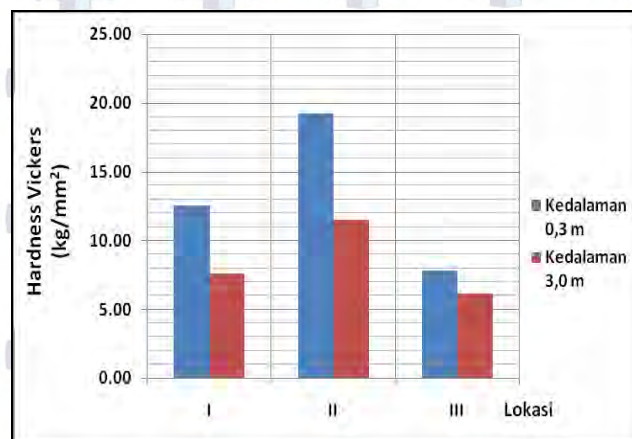
Data nilai hardness pada Tabel 4.3 memperlihatkan bahwa pada ketiga lokasi pengambilan sampel nilai hardness rata-rata sampel dari kedalaman galian $\pm 0,3$ meter lebih tinggi dibandingkan dengan sampel dari kedalaman galian $\pm 3,0$ meter. Hal ini memberikan gambaran bahwa semakin dalam tempat deposit batu

apung tingkat hardness-nya semakin kecil atau material batu apung semakin lunak.

Tabel 4.3 Data nilai hardness batu apung Lombok hasil pengujian metode Vickers

Lokasi/Kedalaman (m)		Kekerasan Vickers (kg/mm ²)
I	±0,3	12,50
	±3,0	7,62
II	±0,3	19,18
	±3,0	11,47
III	±0,3	7,75
	±3,0	6,08

Keadaan nilai hardness pada Tabel 4.3 konsisten dengan nilai densitas dan porositas sampel dari lokasi I dan lokasi II tetapi tidak konsisten dengan nilai densitas dan porositas sampel dari lokasi III. Tidak konsistennya keadaan hardness sampel lokasi III dengan nilai densitas dan porositasnya dapat terjadi karena ketika indenter mengenai permukaan rata sampel, di bawah permukaan rata tersebut memungkinkan adanya pori. Dari data volume pori spesifik terlihat ukuran volume pori spesifik sampel III lebih besar dibandingkan sampel dari lokasi I dan lokasi II. Keadaan sifat hardness terhadap variasi lokasi pengambilan sampel dapat dicermati lebih lanjut pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik nilai hardness batu apung dengan variasi lokasi pengambilan sampel

Gambar 4.3 memperlihatkan keadaan nilai hardness batu apung Lombok dengan variasi lokasi pengambilan sampel. Dari gambar tersebut terlihat bahwa

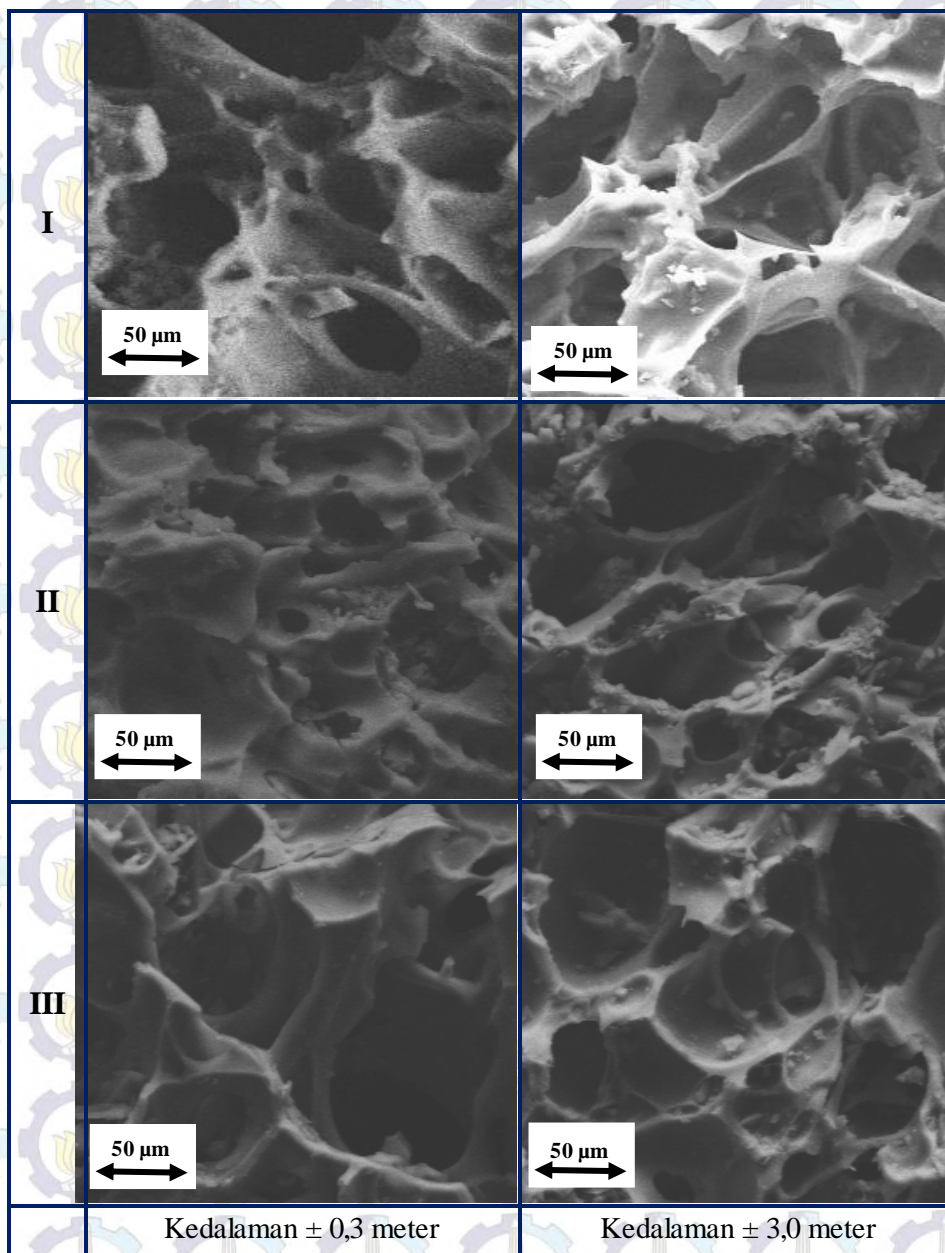
batu apung pada lokasi II memiliki nilai hardness lebih tinggi dibandingkan batu apung dari lokasi I dan lokasi II untuk tiap kedalaman galian pengambilan sampel. Hal ini memberikan gambaran bahwa kemampuan batu apung pada lokasi dengan ketinggian $\pm 300 - 500$ meter dpl dalam menahan deformasi plastis lebih tinggi dibandingkan dengan batu apung dari lokasi dengan ketinggian $\pm 0 - 30$ meter dpl dan $\pm 500 - 1000$ meter dpl. Keadaan ini konsisten dengan keadaan densitas dan porositas sampel batu apung dari lokasi II seperti telah diungkapkan pada Subbab 4.1.1 dan Subbab 4.1.2. Perbedaan tingkat hardness ini terjadi karena faktor yang sama dengan faktor yang mempengaruhi keadaan densitas batu apung.

4.3 Analisis Struktur Mikro

4.3.1 Analisis Data Mikrografi SEM

Mikrografi SEM merupakan gambar hasil pencitraan struktur mikro dengan seperangkat peralatan SEM. Mikrografi SEM memberikan informasi tentang orientasi kristalin, distribusi material penyusun, cacat, batas butir, ukuran diameter butir yang menjadi dasar untuk memperkirakan sifat-sifat bahan. Pada penelitian ini, struktur mikro batu apung apung diuji dengan seperangkat peralatan SEM di Laboratorium Energi LPPM ITS. Ukuran sampel $\pm (1,0 \text{ cm} \times 1,0 \text{ cm} \times 1,0 \text{ cm})$ dengan pembesaran 1000x. Dari pengujian ini diperoleh mikrografi SEM seperti pada Gambar 4.4.

Mikrografi SEM sampel batu apung Lombok pada Gambar 4.4 memperlihatkan bahwa batu apung memiliki struktur sel-sel pori (porous) dengan ukuran diameter pori yang berbeda-beda untuk ketiga lokasi pengambilan sampel. Gambar 4.4 juga memperlihatkan tebal batas antar pori untuk ketiga lokasi dari tiap kedalaman galian memiliki tebal yang berbeda. Mikrografi SEM lokasi I dan lokasi II menunjukkan bahwa sel-sel pori sampel dari kedalaman galian $\pm 3,0$ meter tersebar lebih merata dibandingkan dengan sampel dari kedalaman galian $\pm 0,3$ meter dari permukaan tanah. Keadaan ini memberikan gambaran bahwa semakin dalam galian tempat pengambilan sampel distribusi pori material batu apung dalam suatu permukaan sampel semakin rata.



Gambar 4.4 Mikrografi SEM sampel batu apung Lombok dengan perbesaran 1000 kali

Distribusi pori mempengaruhi tebal batas antar pori dalam satu permukaan sampel. Semakin merata distribusi pori, tebal batas pori semakin lebih merata. Keadaan ini berdampak pada tingkat densitas, porositas, dan hardness material. Sampel yang memiliki tebal batas pori yang lebih rata memiliki densitas dan hardness lebih rendah dibandingkan dengan sampel dengan tebal batas pori yang tidak merata. Sedangkan porositas sampel akan lebih besar.

Keadaan berbeda ditampakkan oleh Mikrografi SEM sampel dari lokasi II. Ukuran pori-pori sampel dari kedalaman galian $\pm 0,3$ meter lebih besar dibandingkan dengan ukuran pori-pori sampel dari kedalaman galian $\pm 3,0$ meter. Akibatnya, meskipun distribusi pori-pori sampel dari kedalaman galian $\pm 3,0$ meter lebih rata, tebal batas antar porinya lebih besar dibandingkan sampel dari kedalaman galian $\pm 0,3$ meter. Fakta ini konsisten dengan hasil pengujian densitas dan porositasnya.

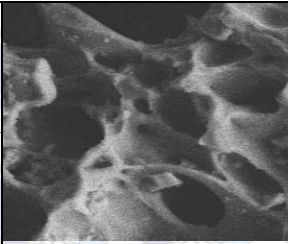
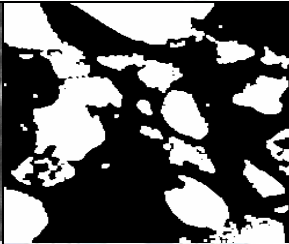
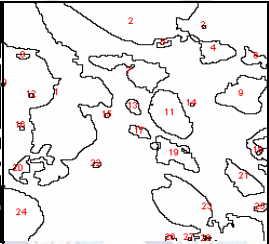
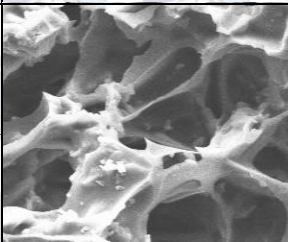

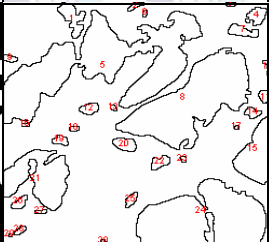
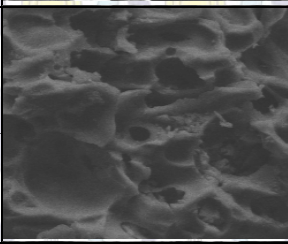
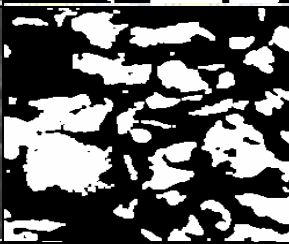
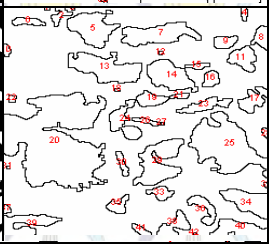
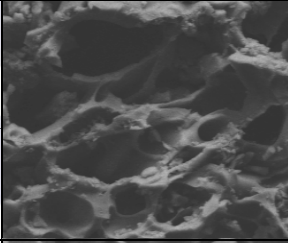
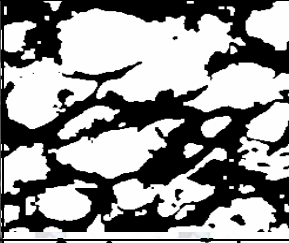
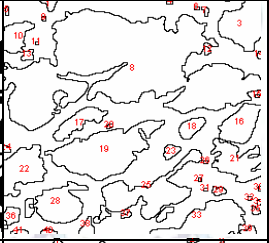
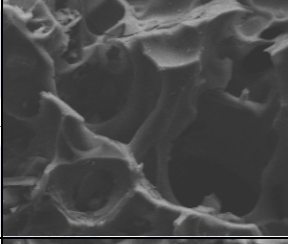

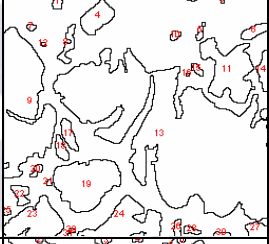
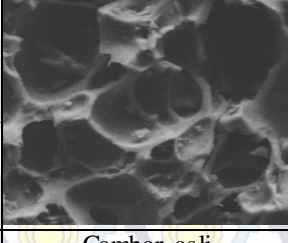
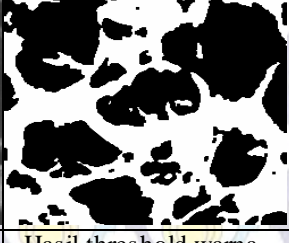
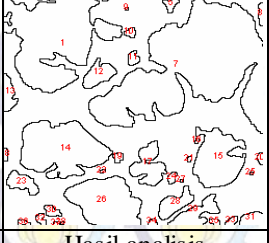
Selanjutnya, Gambar 4.4 juga menunjukkan bahwa semakin dalam letak sampel pada lokasi I dan lokasi II, distribusi pori-pori semakin merata, tebal batas pori semakin lebih merata, densitas dan hardness lebih rendah, dan porositas sampel semakin besar. Pada sampel dari lokasi III semakin dalam letak sampel, distribusi pori-pori semakin merata tetapi ukuran pori-pori lebih kecil sehingga tebal batas antar pori lebih besar, densitas lebih besar dan porositas semakin kecil. Hasil pengujian mikrohardness Vickers untuk sampel dari lokasi III menunjukkan hal yang tidak konsisten, dimana semakin tebal batas antar pori, tingkat hardnessnya malah semakin kecil. Keadaan ini sudah diungkapkan pada Subbab 4.2.

4.3.2 Analisis Porositas dari Mikrografi SEM Dengan Image-J

Pada penelitian ini, software Image-J digunakan untuk menentukan menganalisis jumlah pori dan luas penampangnya dari mikrografi SEM sampel batu apung Lombok. Proses analisis dengan Image-J ada tiga tahapan, yaitu tahap persiapan gambar asli yang akan dianalisis, tahap *threshold* warna pada gambar, dan tahap analisis gambar hasil *threshold* warna. Perubahan tampilan gambar dari ketiga tahapan analisis tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.5.

Analisis Image-J menghasilkan data berupa jumlah pori dan luas penampang pori yang teranalisis (Lampiran 3). Data-data ini terformat dalam bentuk file excel. Dari data ini dapat dihitung nilai luasan penampang total pori dari satu permukaan sampel yang dianalisis dengan Image-J. Selanjutnya, nilai porositas dapat ditentukan dengan membandingkan nilai luas penampang total pori yang teranalisis dengan luas total penampang

permukaan sampel yang dianalisis. Nilai Porositas hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.4.

1	$\pm 0,3$ m			
	$\pm 3,0$ m			
2	$\pm 0,3$ m			
	$\pm 3,0$ m			
3	$\pm 0,3$ m			
	$\pm 3,0$ m			
		Gambar asli	Hasil threshold warna	Hasil analisis

Gambar 4.5 Tampilan mikrografi SEM batu apung Lombok pada tahap analisis menggunakan Image-J (ukuran:250x250 mm²)

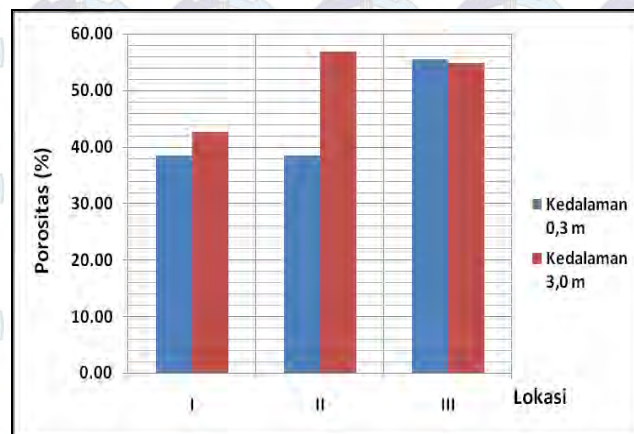
Tabel 4.4 Data nilai porositas tiap sampel batu apung Lombok hasil analisis software Image-J

Lokasi (kedalaman) (m)		Luasan penampang total sampel (μm^2)	Luasan penampang total pori (μm^2)	Rasio luas penampang (pori/ sampel)	(%)
I	$\pm 0,3$	62500	23990	0,3838	38,38
	$\pm 3,0$	62500	26647	0,4264	42,64
II	$\pm 0,3$	62500	24043	0,3847	38,47
	$\pm 3,0$	62500	35497	0,5680	56,80
III	$\pm 0,3$	62500	34678	0,5548	55,48
	$\pm 3,0$	62500	34219	0,5475	54,75

Tabel 4.4 adalah tabel nilai porositas dari ketiga lokasi pengambilan sampel dengan kedalaman galian $\pm 0,3$ meter dan $\pm 3,0$ meter dari permukaan tanah. Dari Tabel 4.4 terlihat bahwa nilai porositas hasil analisis software Image-J konsisten dengan keadaan densitas dan porositas seperti yang telah diungkapkan pada Subbab 4.1. Pada lokasi I dan II, porositas sampel dari kedalaman galian $\pm 0,3$ meter lebih kecil dibandingkan dengan porositas sampel dari kedalaman galian $\pm 3,0$ m. Dengan demikian, hasil analisis Image-J juga menunjukkan bahwa semakin dalam lokasi letak deposit batu apung nilai porositas semakin besar.

Pada lokasi III terlihat bahwa porositas sampel dari kedalaman galian $\pm 0,3$ meter lebih besar dibandingkan dengan porositas sampel kedalaman galian $\pm 3,0$ m. Sehingga pada lokasi III dapat dikatakan bahwa semakin dalam lokasi letak deposit batu apung nilai porositas semakin kecil. Keadaan porositas untuk ketiga lokasi seperti tampak pada Gambar 4.6.

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pada ketiga lokasi pengambilan sampel nilai porositas hasil analisis Image-J untuk sampel dari kedalaman galian $\pm 0,3$ meter memiliki kecenderungan yang sama dengan porositas hasil analisis Archimedes. Keadaan berbeda ditunjukkan oleh nilai porositas hasil Image-J untuk sampel dari kedalaman galian $\pm 3,0$ meter, dimana sampel dari lokasi II memiliki nilai porositas lebih tinggi dari sampel dari lokasi I dan III. Hal ini tidak konsisten dengan yang diungkapkan pada Subbab 4.1.2. Akan tetapi perbedaan nilai porositas antara hasil Image-J dengan hasil metode Archimedes cukup kecil. Grafik nilai porositas hasil Image-J seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.6 Grafik nilai porositas batu apung Lombok dengan variasi lokasi pengambilan sampel hasil analisis software Image-J

Dengan metode Archimedes, nilai porositas dari semua sampel diperoleh sebesar 32,03 % – 51,20 %. Dengan Image-J, nilai porositas dari semua sampel adalah 38,38 % – 56,80 %. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa software Image-J dapat digunakan sebagai salah satu cara pendekatan untuk menentukan nilai porositas material batu apung dari tampilan Mikrografi SEM sampel.

4.4. Analisis Komposisi Kimia

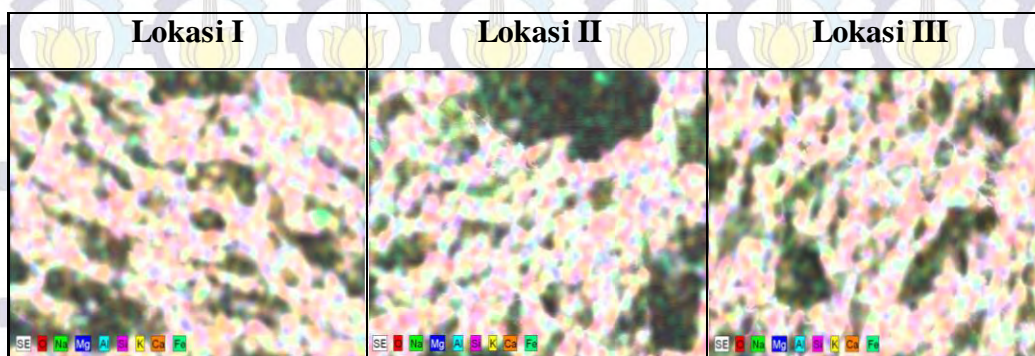
Pengujian XRF dilakukan untuk menganalisis unsur atau komposisi kimia dari sampel. Pada penelitian ini, uji XRF dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material FMIPA Universitas Negeri Malang. Dari pengujian ini diperoleh data komposisi kimia batu apung Lombok dari tiga lokasi pengambilan sampel seperti pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data komposisi kimia batu apung Lombok hasil pengujian XRF

Lokasi Sampel	Komposisi Kimia (%)						
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	SrO + BaO
I	58,40	12,30	12,00	7,50	7,12	1,42	1,26
II	58,30	12,40	12,00	7,73	6,75	1,45	1,37
III	58,60	12,20	12,00	7,83	6,61	1,41	1,35

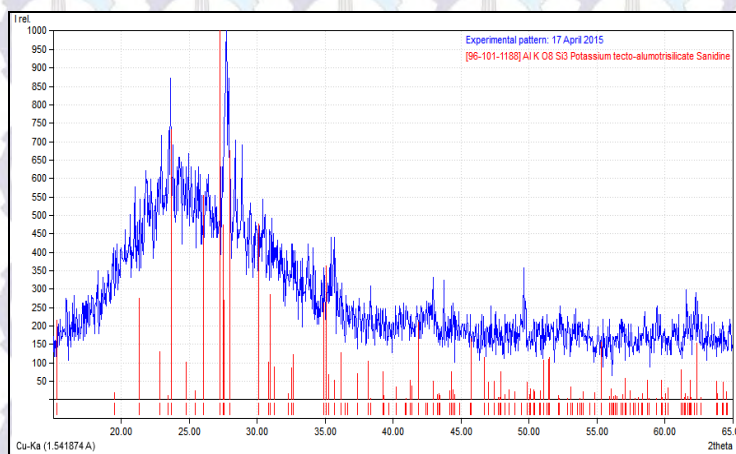
Tabel 4.5 menunjukkan bahwa batu apung Lombok dari ketiga lokasi pengambilan sampel memiliki komposisi kimia didominasi oleh mineral Silika

(SiO₂). Jumlah persentase senyawa SiO₂ yang terukur dengan uji XRF mencapai 58,60 %. Secara keseluruhan batu apung Lombok dari ketiga lokasi pengambilan sampel memiliki persentase komposisi kimia yang hampir sama untuk semua senyawa mineral oksida yang terdeteksi. Berdasarkan jumlah nilai persentase SiO₂ menunjukkan bahwa batu apung Lombok berada di antara *basaltic pumice* dan *acidic pumice* pada Subbab 2.1.3. Distribusi komposisi kimia batu apung Lombok hasil EDX seperti pada Gambar 4.7.



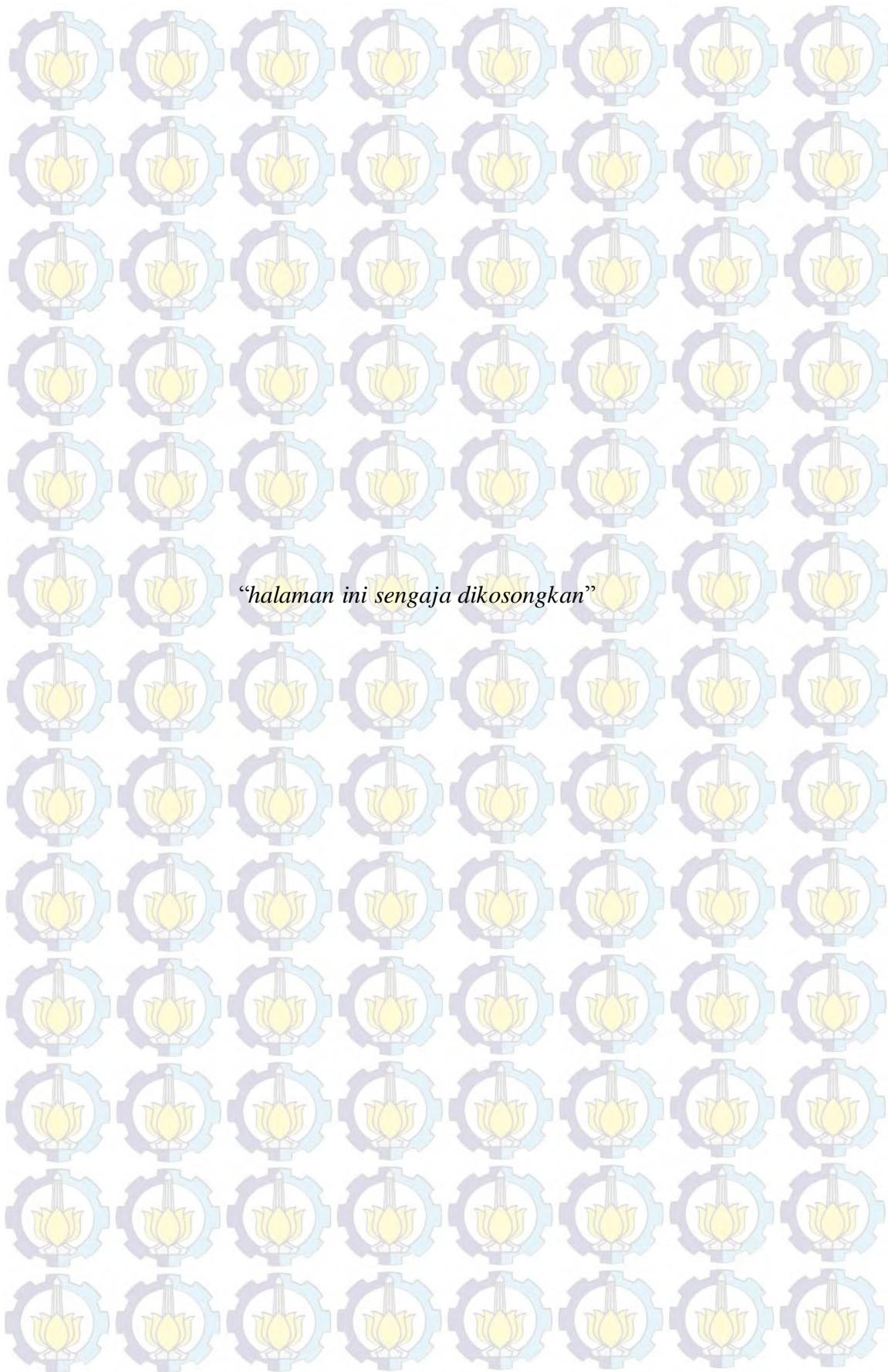
Gambar 4.7 Distribusi unsur-unsur penyusun batu apung Lombok hasil EDX

Gambar 4.7 memperlihatkan distribusi unsur-unsur pada permukaan sampel. Warna hitam merupakan pori-pori dari sampel dan warna yang lain menunjukkan distribusi unsur-unsur. Dari Gambar 4.7 terlihat bahwa distribusi butir-butir unsur penyusun pada permukaan batu apung Lombok memiliki sebaran acak (tidak berpola). Hal ini memberikan informasi bahwa susunan struktur mikro material batu apung bersifat amorf. Keadaan ini didukung oleh data hasil difraksi sinar-X dari sampel lokasi I seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Difraksi sinar-X sampel batu apung Lombok dari lokasi I

Gambar 4.8 memperlihatkan puncak-puncak difraksi sinar X berjajar membentuk jejeran puncak-puncak difraksi yang landai (puncak difraksi tidak curam). Hal ini memberikan informasi bahwa susunan atom-atom dalam material tidak periodik (tidak teratur). Sehingga batu apung memiliki sifat amorf.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

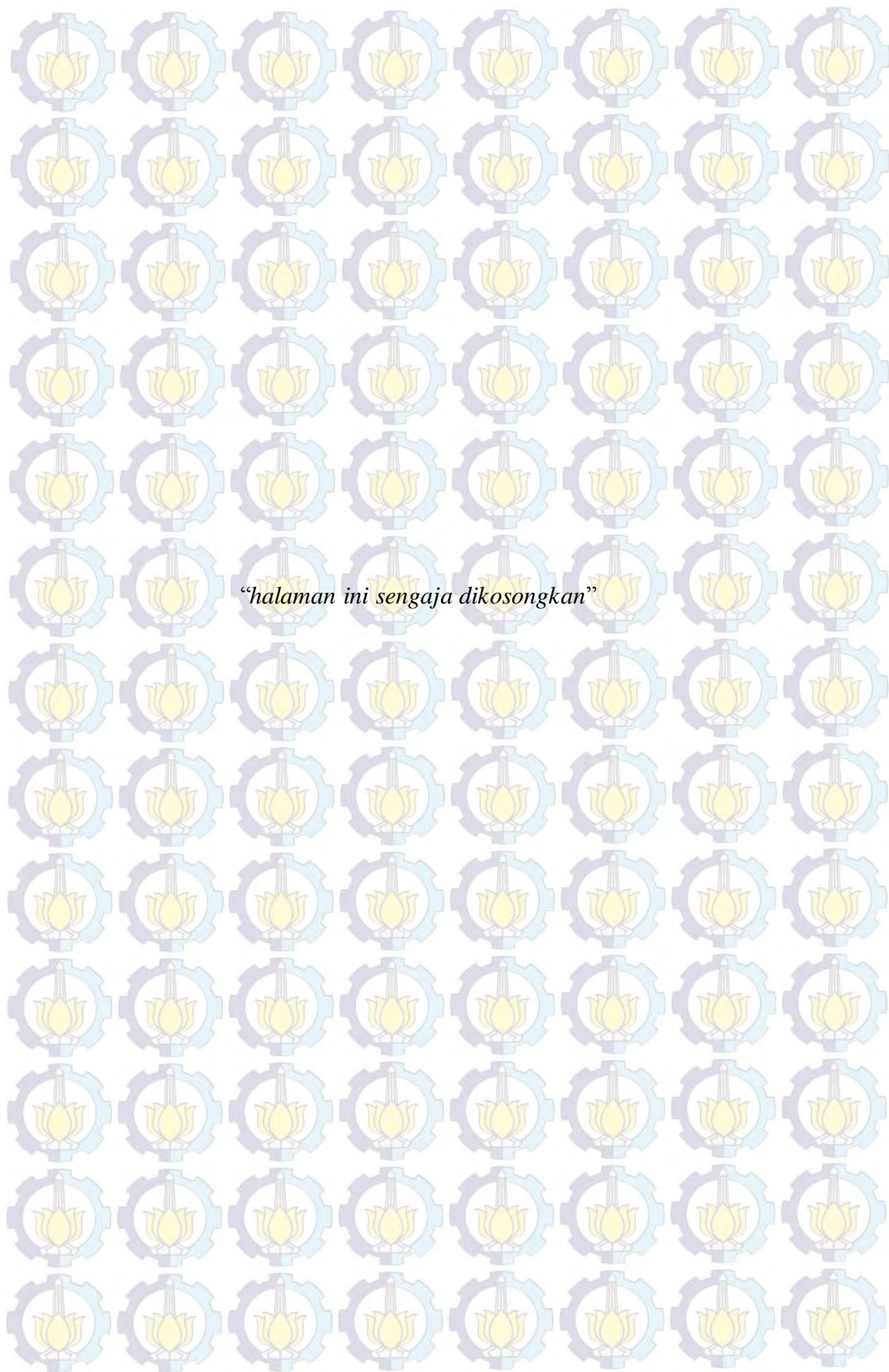
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ini, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Lokasi keberadaan deposit batu apung dan kedalaman galian mempengaruhi densitas dan porositasnya. Dari penelitian ini diperoleh nilai densitas asli batu apung Lombok sebesar (0,610 - 0,753) gram/cm³, densitas kering sebesar (0,594 - 0,737) gram/cm³, dan densitas jenuh sebesar (1,057 - 1,148) gram/cm³. Nilai porositas diperoleh sebesar (32,03 - 51,20)% dan volume pori spesifik sebesar (0,435 - 0,817) cm³/gram.
2. Densitas batu apung mempengaruhi tingkat hardnessnya. Dari penelitian ini, hasil uji mikroharness Vickers menunjukkan bahwa batu apung memiliki tingkat hardness yang rendah, dimana nilai hardness rata-rata yang diperoleh sebesar 6,08 kg/mm² – 19,18 kg/mm².
3. Struktur mikro batu apung memiliki tekstur berpori (vasikular) dengan ukuran pori yang berbeda-beda. Dengan analisis software Image-J, diperoleh nilai porositas diperoleh sebesar 38,38 % - 56,80 %. Dengan hasil ini, software Image-J relevan digunakan untuk menganalisis ukuran porositas gambar SEM sampel batu apung.
4. Komposisi kimia batu apung Lombok didominasi oleh senyawa SiO₂ dengan jumlah persentase sebesar 58,60 %.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Pada pengujian hardness permukaan sampel harus benar-benar rata dan pengujiannya dicoba dengan metode Rockwell.
2. Diperlukan ketelitian tinggi dalam menentukan ukuran warna baground dan warna pori ketika menganalisis mikrografi SEM sampel dengan Image-J.



DAFTAR PUSTAKA

- Branney, M. and Kokelaar, P. (2002): Pyroclastic density flows and the sedimentation of ignimbrites.- Geol. Soc. London, Mem., 27, 143 pp.
- Callister, Jr, William D. 2007. "Materials Science and Engineering An Introduction Seven Edition", John Wiley and Sons, Inc, United States of America.
- Cas, R.A.F. and Wright, J.V., 1987, Volcanic Successions : Modern and Ancient, Allen and Unwin (Publisher) Ltd., London UK.
- Collins, Tony J., "ImageJ for Microscopy". BioTechnique, Vol. 43 (July, 2007): S25-S30.
- Das, B.M, 1990, "Principles of Foundation Engineering", Second Edition, PWS Kent Publishing Company, Boston.
- Ernest G. E., and Blatt H., 1982, *Petrology of Igneous, Sedimentary, and Metamorphic Rocks*, W. H. Freeman and Company, San Fransisco.
- Fisher, R.V. and H. -U., Schmince, 1984, Pyroclastic Rocks, Springer Verlag, Berlin.
- Fisher, R.V. and Smith, G.A. (eds.)(1991): Sedimentation in volcanic settings.- Soc. Econ. Paleont. Mineral., Vol. 45
- Freundt, A. and Rosi, M. (Hrsg.)(1998): From magma to tephra – modelling physical processes of explosive volcanic eruptions.- Developments in Volcanol. 4, Elsevier, 318S.
- Groves, D., I, and Muller., D., 1997, Potassic Igneous Rocks and Associated Gold-Copper Mineralization, Springer.
- Hyndman, Donald., W., 1972, Petrology of Igneous and Metamorphic Rocks, Mc.Graw-Hill, Inc,
- Kurniawan, C, dkk. 2015. Analisis Ukuran Partikel Menggunakan Free Software Image-J. Pusat Penelitian Fisika, LIPI.
- Macdonald., G., A, 1972, Volcanoes, University of Hawaii, Prentise-Hall, Inc, New Jersey.

- Malik, Yakub. 2012. Handout Batuan “Mengenai Batuan”. Jurusan pendidikan Geografi UPI. Bandung
- Mc. Phie., J., Doyle., And Allen, 1993, Volcanic Texture, Centre for Ore Deposit and Exploration Studies, University Tasmania.
- Nandi. 2010. Handout Geologi Lingkungan “Batuan, Mineral, dan Batubara”. Jurusan pendidikan Geografi UPI. Bandung
- Németh, K. and Martin, U. 2007. Practical Volcanology “Lecture Note for Understanding Volcanic Rock from Field Based Studies”. Occasional Papers of The Geological Institut of Hungary. Budapest
- Osman I. 2010. Use of Pumice in Mortar and Rendering for Lightweight Building Blocks. Eastern Mediterranean University
- Schmincke, H.-U. (2004): Volcanism- Springer, Heidelberg, 324 pp.
- Sigurdson, H. et al. (eds.)(1999): Encyclopedia of volcanoes.- Academic Press.
- Soekardi, M. 2004. Petrologi “Batuan Piroklastik”. UGM. Yogyakarta.
- Supriadi R.A, dkk. 2010. Makalah Bahan Galian “Batu Apung”. Jurusan kimia Universitas Mataram.
- Sutomo, A.H. 1999. Pemanfaatan Campuran Tanah Liat, Batu Apung dan Kapur sebagai Alternatif Pengganti Semen. Tugas Akhir. Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Travis, R. B, 1955, *Classification of Rocks*, Quarterly of Colorado School of Mines.
- Valance, J. W, 2000, *Lahars*. McGill University. Academic Press
- Williams, H. & McBirney, A. 1979, Volcanology, Freeman Cooper and Company, San Francisco,
- Wilson, M.,1991, Igneous Petrogenesis : A Global Tectonic Approach, Publisher, London
- www.epmalab.uoregon.edu/seimages.htm
- http://petrowiki.org/images/2/2c/Vol1_Page_582_Image_0001.png
- www.teknira.esdm.go.id/data/Batuapung
- www.vacationspotindonesia.wordpress.com

Lampiran 1

Hasil Pengujian Dengan Metode Archimedes

a. Variabel-variabel Hasil Pengukuran

1. m_a = massa percontoh asli (gram)
2. m_o = massa percontoh kering (gram)
3. m_w = massa percontoh jenuh (gram)
4. m_k = massa (bejana+ air+sampel tenggelam) (gram)
5. m_b = massa (bejana+air+sampel tergantung di air) (gram)

b. Variabel-variabel Hasil Perhitungan

1. Berat percontoh jenuh dalam air

$$m_s = m_a - m_b \quad (\text{gram})$$

2. Volume percontoh tanpa pori

$$V_p = \frac{m_o - m_s}{\rho_{air}} \quad (\text{cm}^3)$$

3. Volume percontoh total

$$V_b = \frac{m_w - m_s}{\rho_{air}} \quad (\text{cm}^3)$$

4. Berat isi asli (*natural density*)

$$\gamma = \frac{m_n}{V_b} \quad (\text{gram/cm}^3)$$

5. Berat isi kering (*dry density*)

$$\gamma = \frac{m_o}{V_b} \quad (\text{gram/cm}^3)$$

6. Berat isi jenuh (*saturated density*)

$$\gamma = \frac{m_w}{V_b} \quad (\text{gram/cm}^3)$$

7. Berat jenis (*Specific Gravity*)

$$\gamma = \frac{m_o / V_p}{\rho_{air}}$$

8. Porositas

$$n = \frac{m_w - m_o}{m_w - m_s} \times 100\%$$

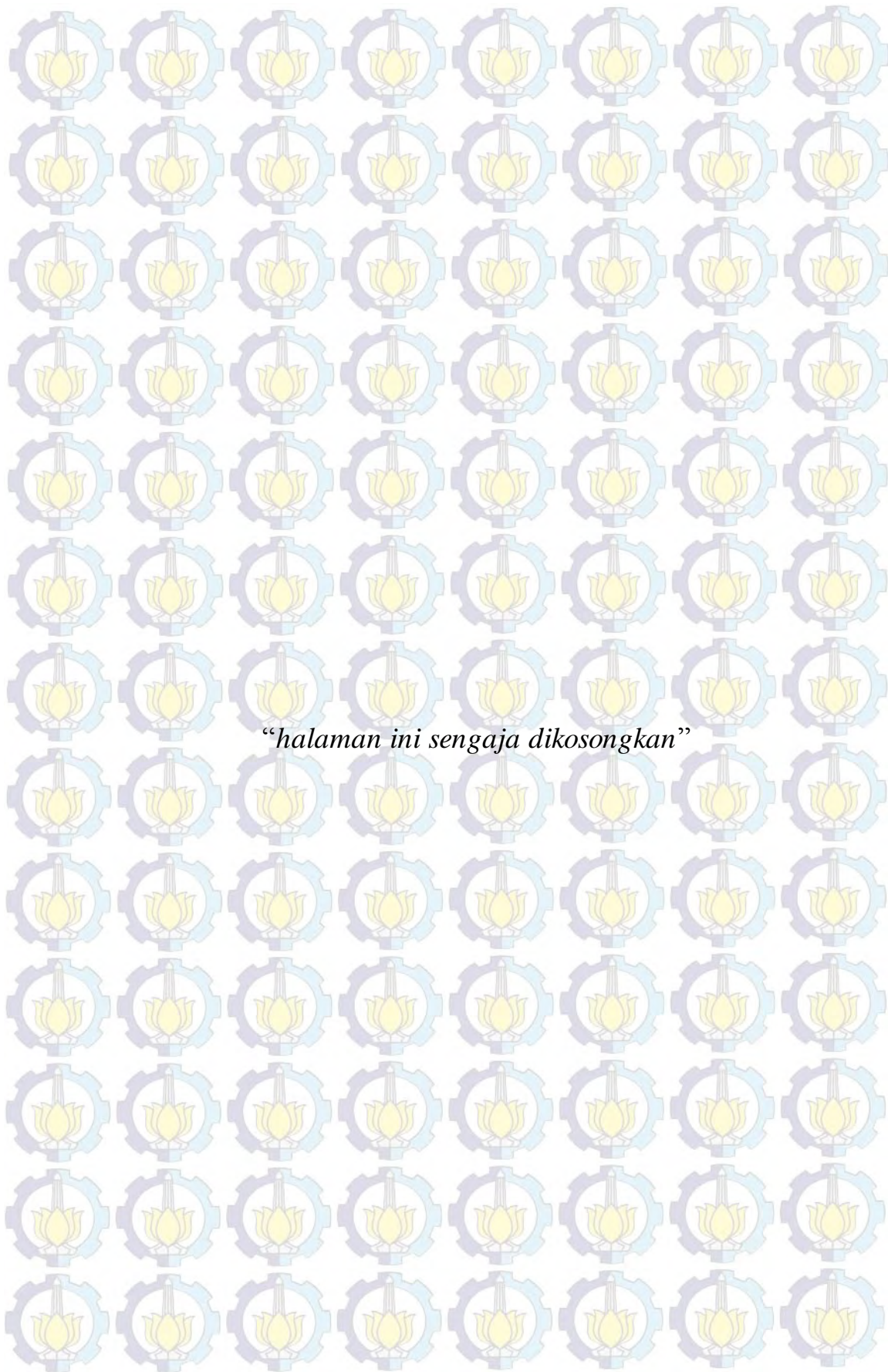
9. Volume pori spesifik

$$V_{\text{spesifik}} = \frac{(m_w - m_o)}{\rho_{\text{air}}} \text{ (cm}^3\text{/gram)}$$

c. Data hasil pengujian metode Archimedes dengan suhu pemanasan sampel

200 °C

Variabel Fisika	SAMPEL					
	I		II		III	
	± 0.3 m	± 3.0 m	± 0.3 m	± 3.0 m	± 0.3 m	± 3.0 m
Berat percontoh asli (m _n) (gram)	1.266	1.057	1.291	1.268	0.905	0.946
Berat percontoh kering (m _o) (gram)	1.239	1.030	1.263	1.247	0.886	0.923
Berat percontoh jenuh (m _w) (gram)	1.878	1.851	1.812	1.978	1.610	1.514
m _a (gram)	180.835	180.275	170.718	179.753	180.624	180.592
m _b (gram)	180.656	180.157	170.620	179.498	180.428	180.497
m _s (gram)	0.179	0.118	0.098	0.255	0.196	0.095
(m _o - m _s)/ρ _{air} (cm ³)	1.060	0.912	1.165	0.992	0.690	0.828
(m _w - m _s)/ρ _{air} (cm ³)	1.699	1.733	1.714	1.723	1.414	1.419
Bobot Isi Asli (γ _n) (gram/cm ³)	0.745	0.610	0.753	0.736	0.640	0.667
Bobot Isi Kering (γ _d) (gram/cm ³)	0.729	0.594	0.737	0.724	0.627	0.650
Bobot Isi Jenuh (γ _s) (gram/cm ³)	1.105	1.068	1.057	1.148	1.139	1.067
Berat Jenis Semu (ρ _a) (gram/cm ³)	0.729	0.594	0.737	0.724	0.627	0.650
Berat Jenis Nyata (ρ _b) (gram/cm ³)	1.169	1.129	1.084	1.257	1.284	1.115
Kadar Air Asli (%)	2.179	2.621	2.217	1.684	2.144	2.492
Kadar Air Jenuh (%)	51.574	79.709	43.468	58.621	81.716	64.030
Drajad Kejenuhan (%)	4.225	3.289	5.100	2.873	2.624	3.892
Porositas (φ) (%)	37.610	47.374	32.030	42.426	51.202	41.649
Volume pori spesifik (cm ³ /gram)	0.516	0.797	0.435	0.586	0.817	0.640



Lampiran 2

Hasil Pengujian Hardness Dengan Metode Vickers

Lokasi	Kekerasan Vickers (kg/mm ²)	
	Kedalaman (m)	
	± 0.3	± 3.0
I	12.4	8.0
	13.1	7.3
	12.0	8.9
	16.0	7.3
	9.3	6.5
	12.2	7.7
Rata-rata	12.5	7.6
II	17.3	9.6
	24.4	8.5
	14.7	8.9
	28.6	22.6
	17.1	8.7
	13.0	10.5
Rata-rata	19.2	11.5
III	4.9	3.2
	5.6	4.9
	10.1	4.0
	7.5	13.6
	12.2	7.2
	6.2	3.6
Rata-rata	7.8	6.1



Lampiran 3

Hasil Analisis Porositas Dengan Software Image-J

1. Data jumlah pori, ukuran luas pori, dan ukuran luas pori rata-rata hasil analisis software Image-J

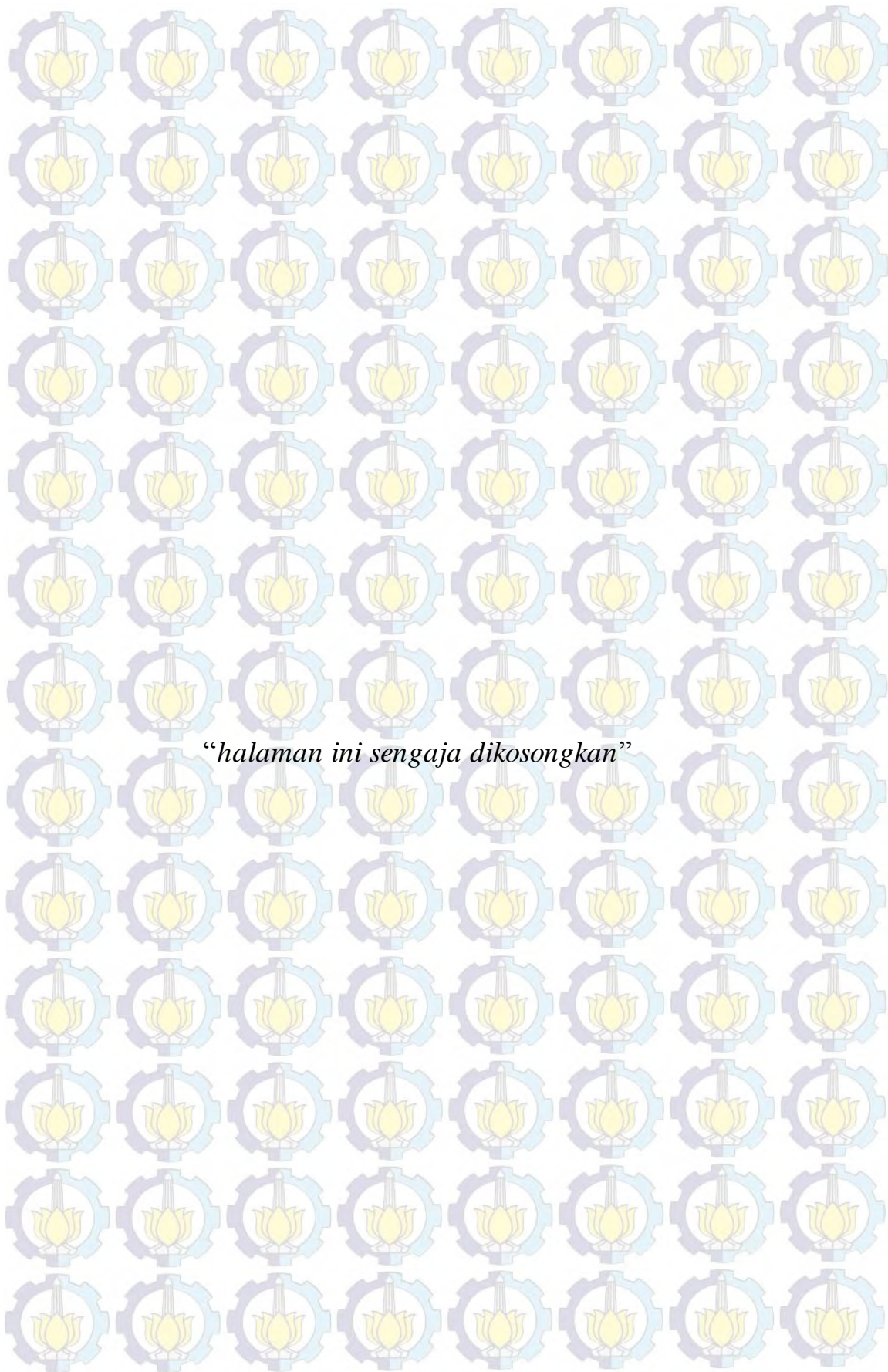
Jumlah Pori Teranalisis	Luas Pori Teranalisis (μm^2) untuk tiap lokasi dan kedalaman galian					
	1		2		3	
	$\pm 0.3 \text{ m}$	$\pm 3.0 \text{ m}$	$\pm 0.3 \text{ m}$	$\pm 3.0 \text{ m}$	$\pm 0.3 \text{ m}$	$\pm 3.0 \text{ m}$
1.	7739	448	15	142	101	6926
2.	3653	65	175	12	44	30
3.	9	34	9	1632	15	50
4.	613	244	76	23	694	36
5.	58	8427	1131	27	84	150
6.	289	24	200	15	256	18
7.	1252	236	1183	43	47	12806
8.	51	5892	395	16727	272	108
9.	1227	75	247	19	5117	9
10.	9	92	75	663	72	86
11.	1343	164	485	9	2005	127
12.	15	158	15	42	15	576
13.	149	28	1440	101	18494	363
14.	9	116	1022	29	289	3898
15.	15	1703	105	12	85	2282
16.	24	21	216	1109	9	19
17.	168	15	494	767	298	947
18.	502	41	15	378	211	55
19.	800	109	326	3574	2456	83
20.	283	233	6785	23	85	65
21.	674	2262	83	1340	25	21
22.	31	168	48	1468	243	16
23.	3199	26	424	174	1479	460
24.	1746	5712	609	42	1690	82
25.	68	107	2832	2668	42	9
26.	46	122	111	12	103	2859
27.	9	36	9	12	260	9
28.	9	60	119	1597	89	585
29.	-	9	1342	97	24	744
30.	-	20	151	15	65	138

31.	-	-	9	12	9	294
32.	-	-	25	15	-	88
33.	-	-	234	1908	-	82
34.	-	-	988	22	-	51
35.	-	-	228	53	-	58
36.	-	-	367	253	-	57
37.	-	-	55	45	-	23
38.	-	-	413	174	-	9
39.	-	-	761	98	-	-
40.	-	-	696	74	-	-
41.	-	-	121	71	-	-
42.	-	-	9		-	-
$\Sigma =$	23990	26647	24043	35497	34678	34219
Pori rata-rata =	856.79	888.23	572.4524	865.78	1118.64	900.5

2. Data Rasio perbandingan luas total pori teranalisis software Image-J dengan luas total permukaan yang dianalisis

Lokasi (kedalaman) (m)		Luasan total permukaan sampel (μm ²)	Luasan total pori (μm ²)	Rasio luasan total (pori/ sampel)	(%)
I	±0,3	62500	23990	0,3838	38,38
	±3,0	62500	26647	0,4264	42,64
II	±0,3	62500	24043	0,3847	38,47
	±3,0	62500	35497	0,5680	56,80
III	±0,3	62500	34678	0,5548	55,48
	±3,0	62500	34219	0,5475	54,75

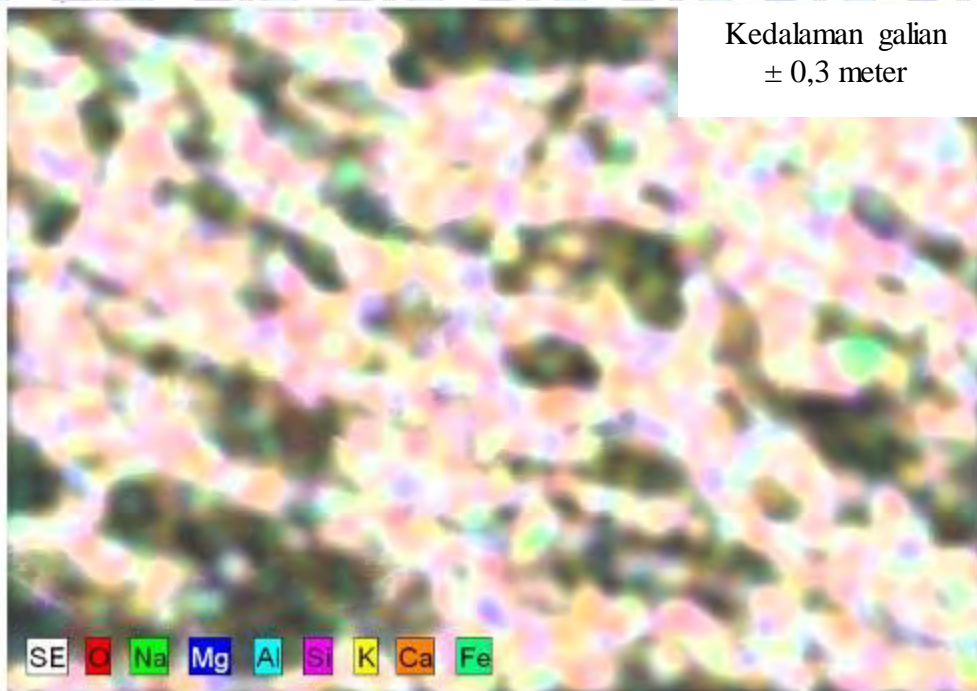
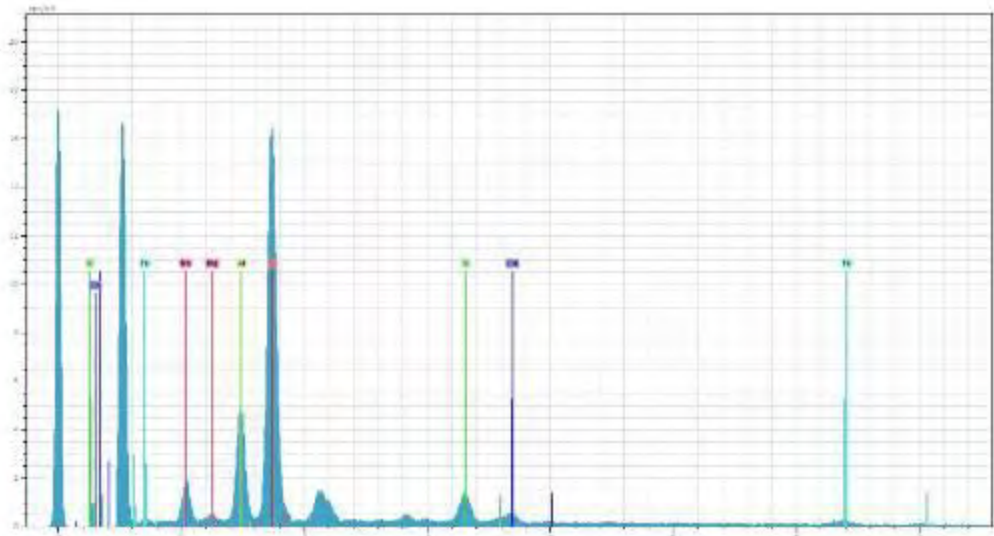
- Ukuran permukaan sampel : $250 \mu\text{m} \times 250 \mu\text{m} = 62500 \mu\text{m}^2$
- Luas total pori diperoleh dengan menjumlahkan luas pori-pori yang teranalisis dengan software Image-J



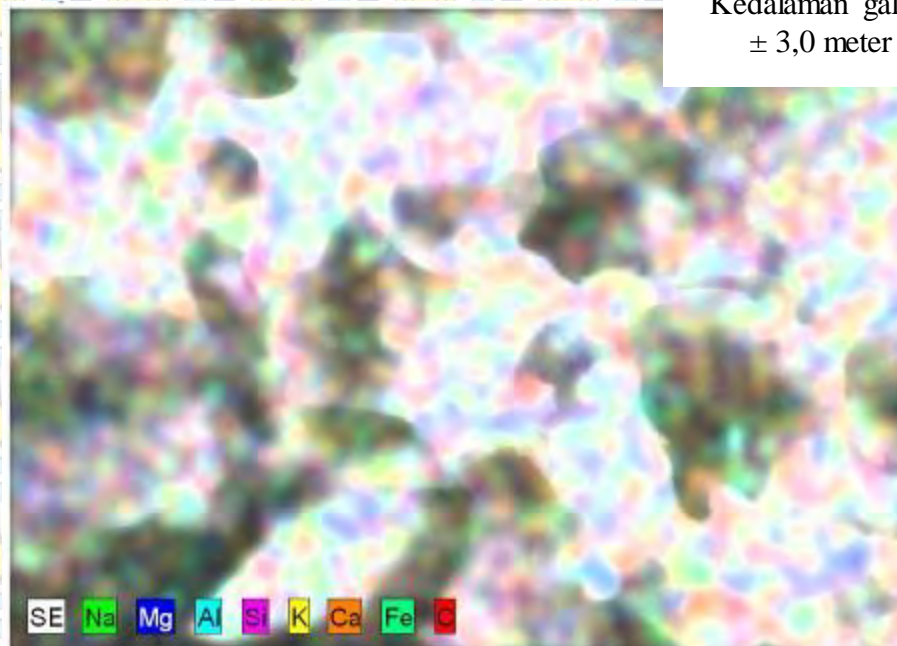
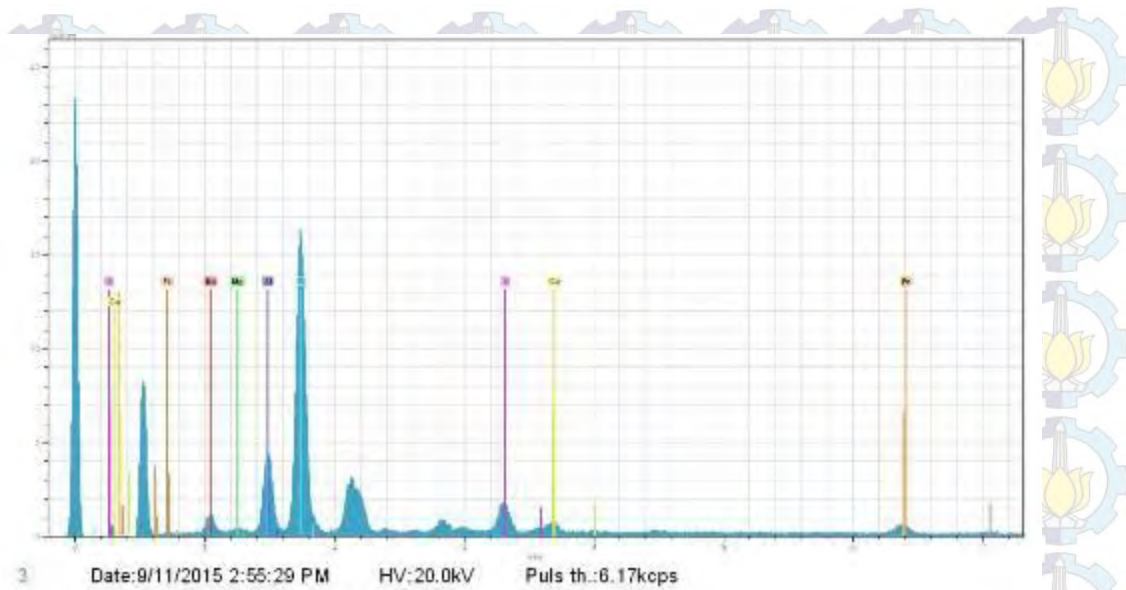
Lampiran 4

Hasil Mikrografi sebaran Unsur-unsur dengan EDX

a. Sampel dari Lokasi 1 (Desa Ijobalit)

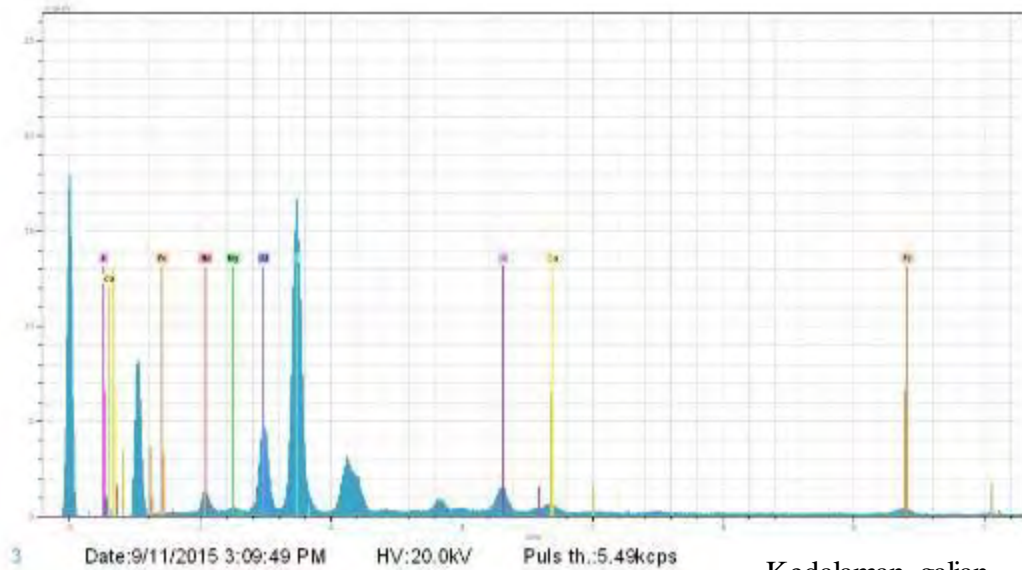


Kedalaman galian
 $\pm 0,3$ meter

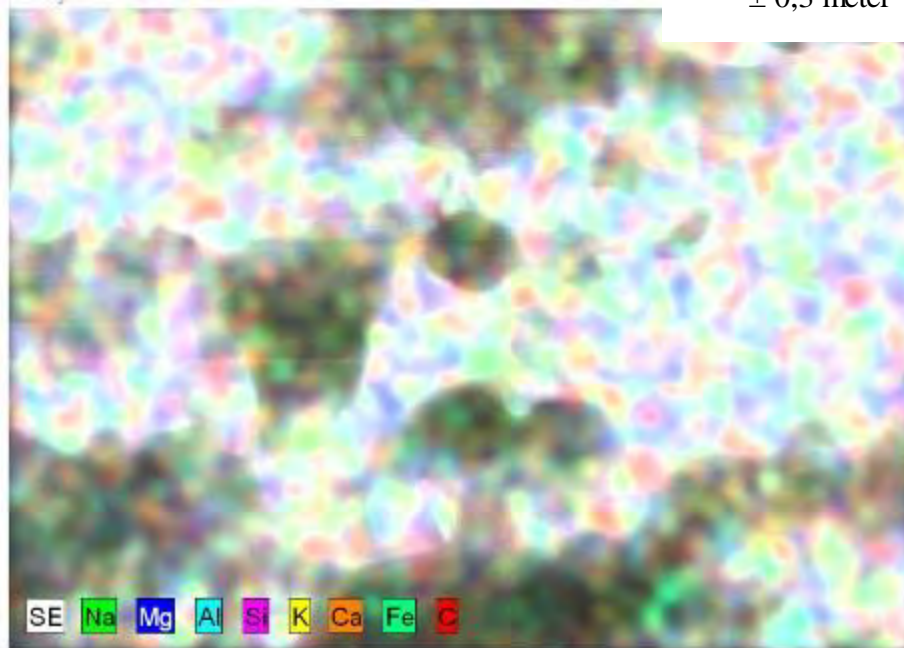


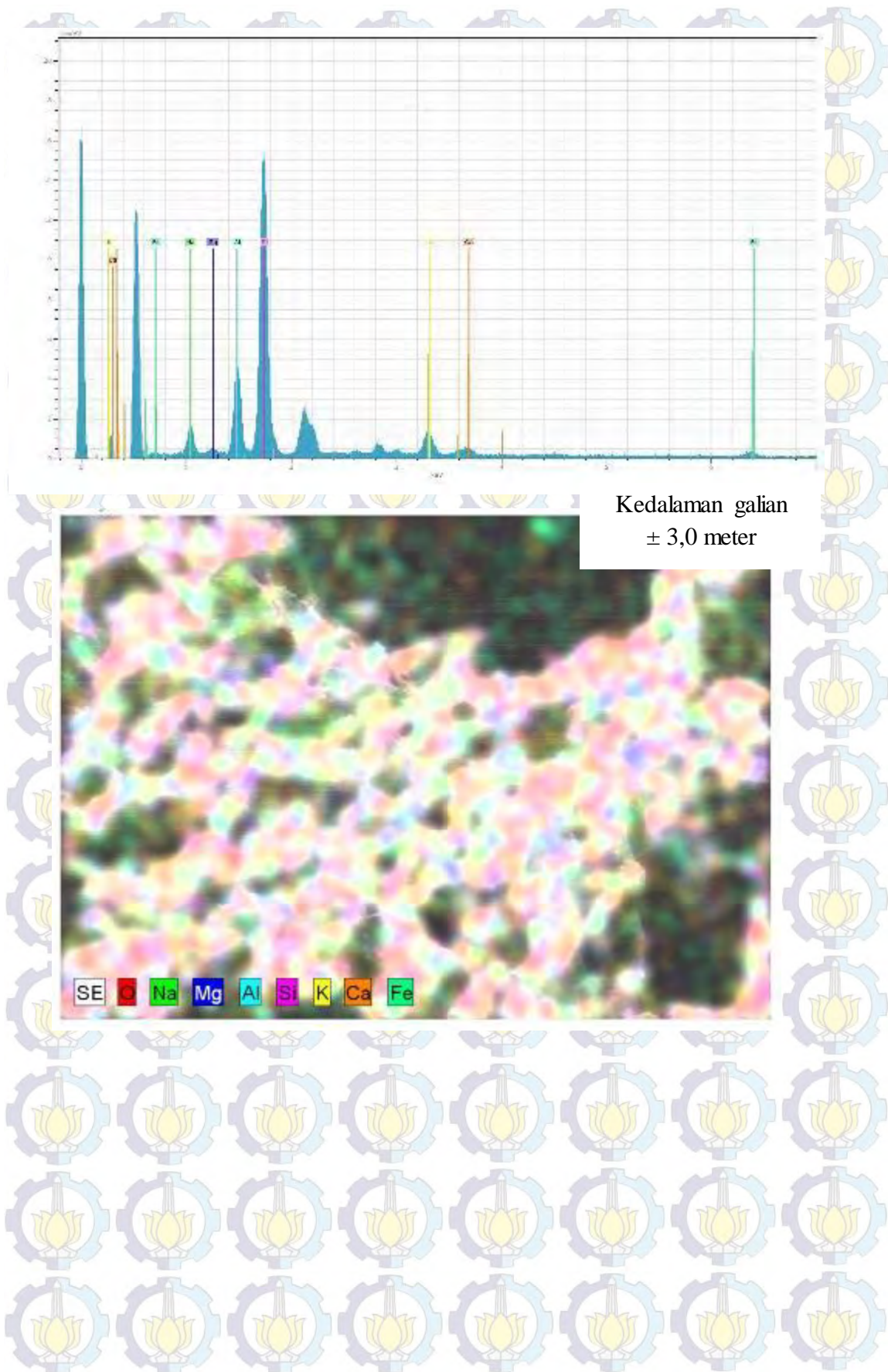
Kedalaman galian
± 3,0 meter

b. Sampel dari Lokasi 2 (Desa Lendang Nangka)

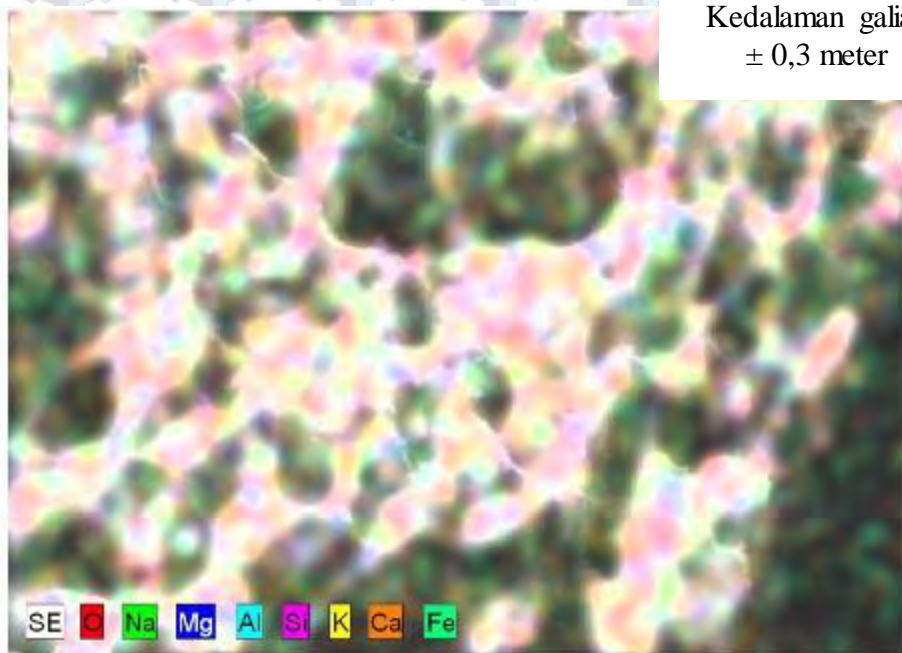
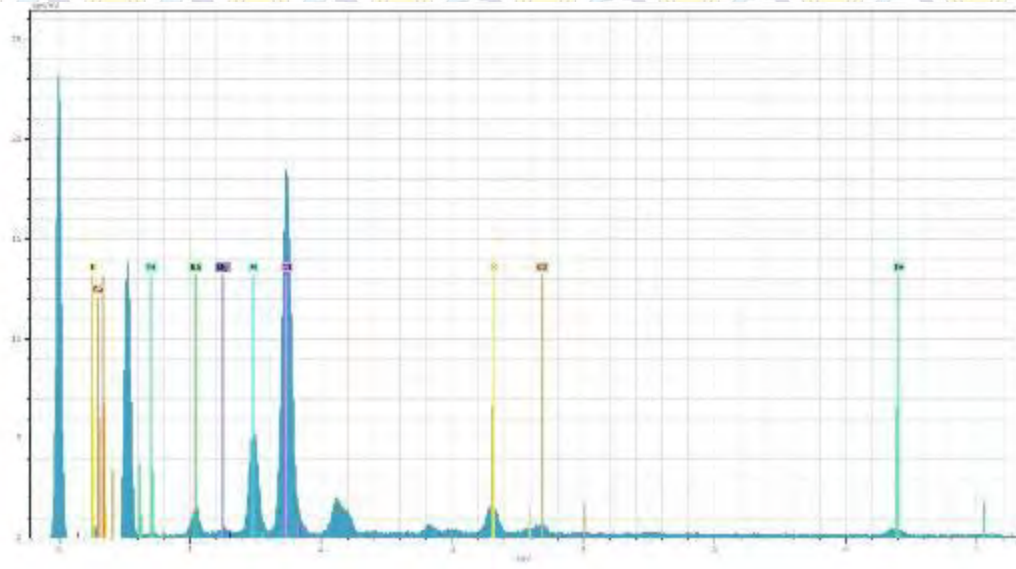


Kedalaman galian
 $\pm 0,3$ meter

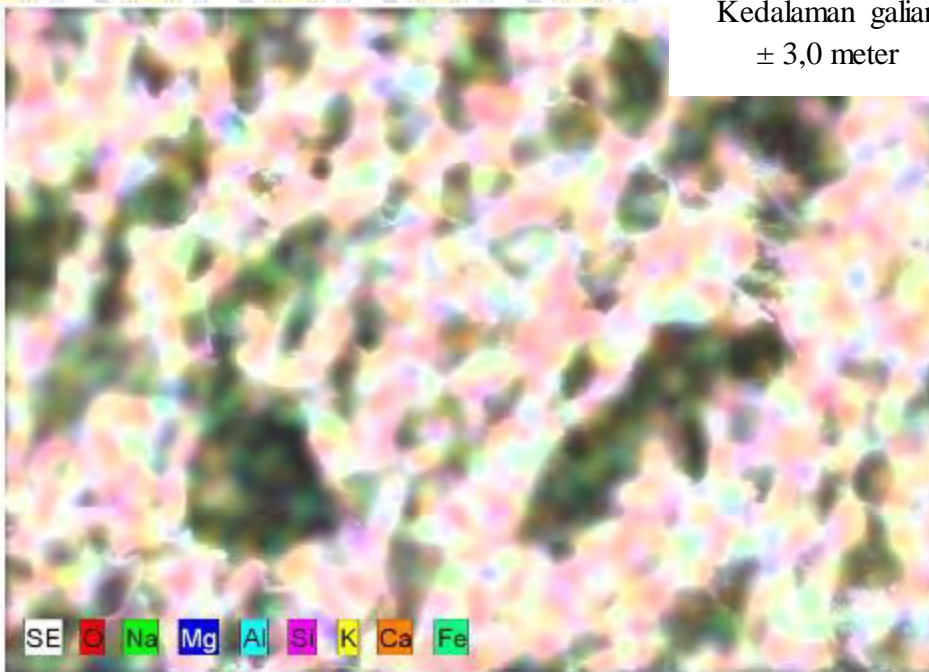
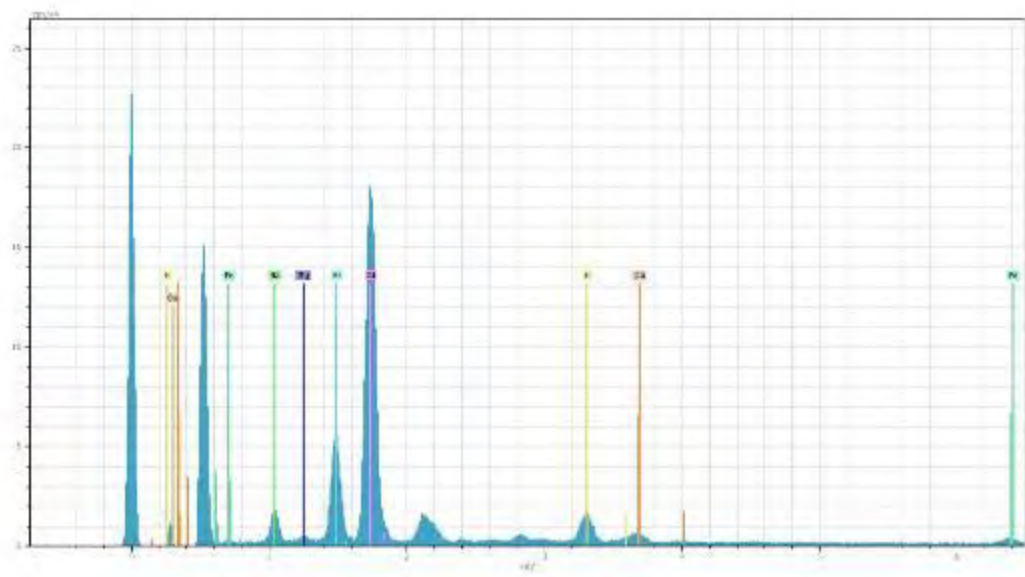




c. Sampel dari Lokasi 3 (Desa Karang Sidemen)



Kedalaman galian
 $\pm 0,3$ meter



Kedalaman galian
± 3,0 meter

Lampiran 4

Hasil Pengujian Komposisi dengan XRF

a. Sampel dari Lokasi 1 (Desa Ijobalit)

LABORATORIUM SENTRAL MINERAL DAN MATERIAL MAJU
FMIPA UNIVERSITAS NEGERI MALANG (UM)

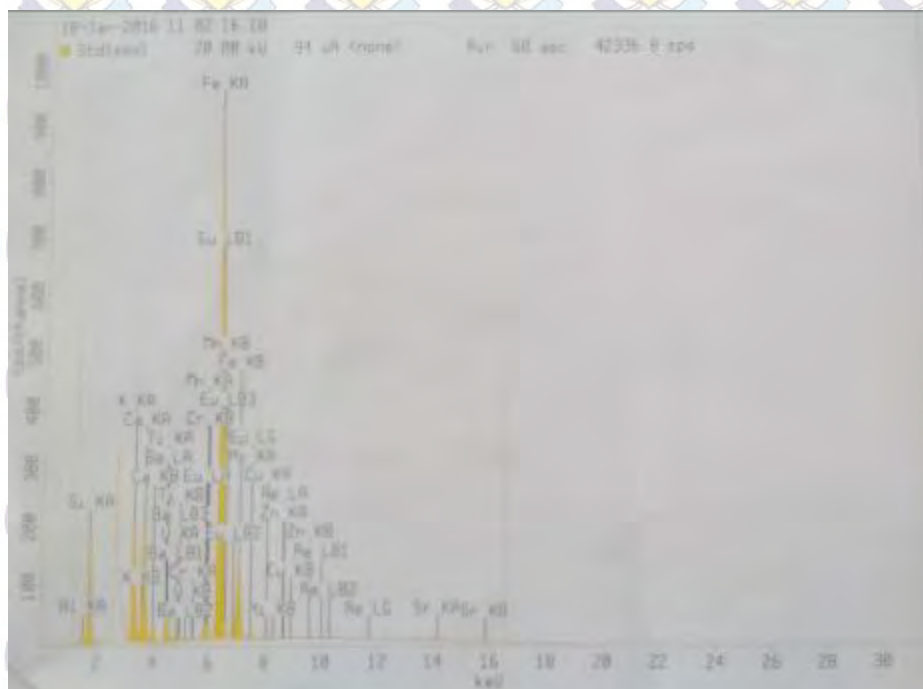
Jl. Semarung 5 Malang, Telp. (0341) 551312 (psw 200) : 574895 / 085106001088

Email: laboratoriumsentralum@yahoo.co.id - Website: centrid-laboratory.um.ac.id

HASIL ANALISIS

Sampel diterima tanggal : 18 Januari 2016
Sampel diuji tanggal : 18 Januari 2016
Nama Sampel : II

Compound	Conc (%)	Methods
Al ₂ O ₃	12 +/- 0.1	XRF
SiO ₂	58.4 +/- 0.2	
K ₂ O	7.50 +/- 0.06	
CaO	7.12 +/- 0.06	
TiO ₂	1.42 +/- 0.02	
V ₂ O ₅	0.02 +/- 0.004	
Cr ₂ O ₃	0.035 +/- 0.004	
MnO	0.41 +/- 0.004	
Fe ₂ O ₃	12.3 +/- 0.1	
NiO	0.083 +/- 0.002	
CuO	0.064 +/- 0.001	
ZnO	0.02 +/- 0.001	
SrO	0.39 +/- 0.01	
BaO	0.26 +/- 0.01	
Eu ₂ O ₃	0.2 +/- 0.02	
Re ₂ O ₇	0.1 +/- 0.009	



b. Sampel dari Lokasi II (Desa Lendang Nangka)

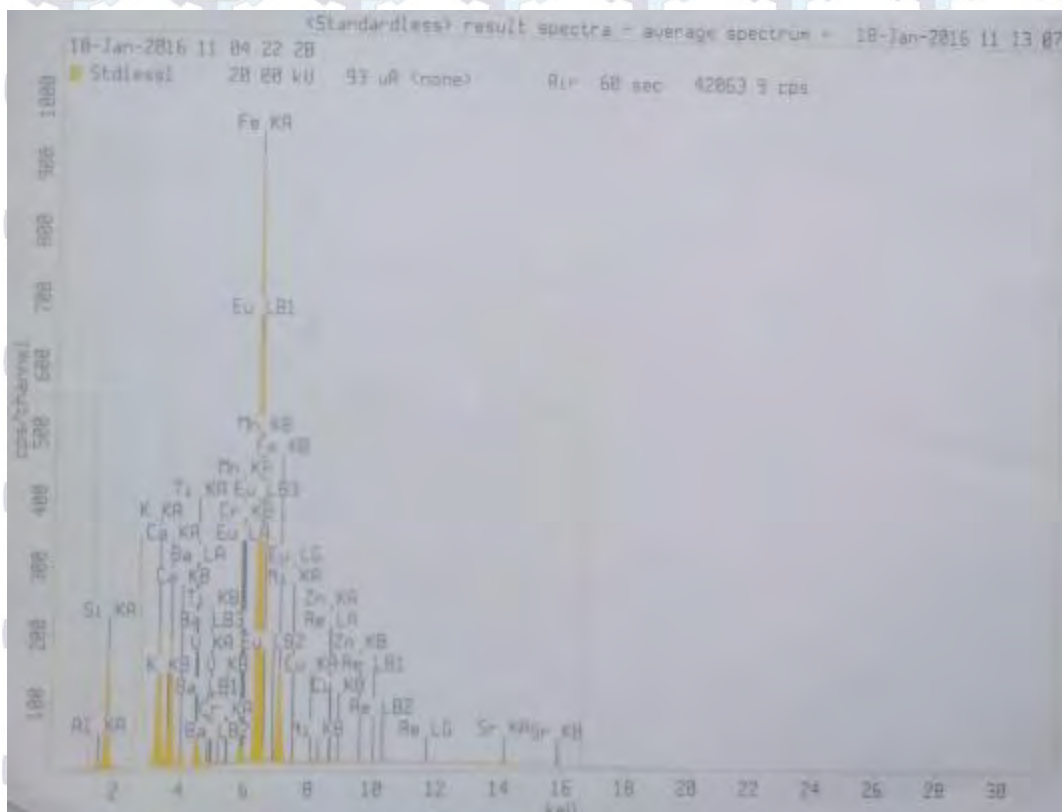
LABORATORIUM SENTRAL MINERAL DAN MATERIAL MAJU
FMIPA UNIVERSITAS NEGERI MALANG (UM)

Jl. Semarang 5 Malang, Telp. (0341) 551312 (paw 200) / 574895 / 085106001088
Email: laboratoriumsentralum@yahoo.co.id ; Website : central-laboratory.um.ac.id

HASIL ANALISIS

Sampel diterima tanggal : 18 Januari 2016
Sampel diuji tanggal : 18 Januari 2016
Nama Sampel : 2B

Compound	Conc (%)	Methods
Al ₂ O ₃	12 +/- 0.2	XRF
SiO ₂	58.3 +/- 0.05	
K ₂ O	7.73 +/- 0.08	
CaO	6.75 +/- 0.03	
TiO ₂	1.45 +/- 0.0099	
V ₂ O ₅	0.02 +/- 0.003	
Cr ₂ O ₃	0.036 +/- 0.006	
MnO	0.42 +/- 0.007	
Fe ₂ O ₃	12.4 +/- 0.07	
NiO	0.081 +/- 0.004	
CuO	0.068 +/- 0.003	
ZnO	0.02 +/- 0.007	
SrO	0.39 +/- 0.01	
BaO	0.28 +/- 0.02	
Eu ₂ O ₃	0.2 +/- 0.03	
Re ₂ O ₇	0.1 +/- 0.02	
SiO ₂	58.3 +/- 0.05	



c. Sampel dari Lokasi II (Desa Lendang Nangka)

LABORATORIUM SENTRAL MINERAL DAN MATERIAL MAJU
FMIPA UNIVERSITAS NEGERI MALANG (UM)
 Jl. Semarang 5 Malang, Telp. (0341) 551312 (psw 200) / 574895 / 085106001088
 Email: laboratoriumsentralum@yahoo.co.id - Website: central-laboratory.um.ac.id

HASIL ANALISIS

Sampel diterima tanggal : 18 Januari 2016
 Sampel diuji tanggal : 18 Januari 2016
 Nama Sampel : 3B

Compound	Conc (%)	Methods
Al ₂ O ₃	12 +/- 0.08	
SiO ₂	58.6 +/- 0.02	
K ₂ O	7.83 +/- 0.04	
CaO	6.61 +/- 0.03	
TiO ₂	1.41 +/- 0.02	
V ₂ O ₅	0.03 +/- 0.009	
MnO	0.42 +/- 0.0095	
Cr ₂ O ₃	0.035 +/- 0.0008	
Fe ₂ O ₃	12.2 +/- 0.05	
NiO	0.085 +/- 0.001	
CuO	0.067 +/- 0.001	
ZnO	0.02 +/- 0.003	
Rb ₂ O	0.12 +/- 0.004	
SrO	0.37 +/- 0.02	
BaO	0.29 +/- 0.03	
Eu ₂ O ₃	0.2 +/- 0.02	
Re ₂ O ₇	0.09 +/- 0.01	XRF





“halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir pada 23 Juni 1984 di Wanasaba Lombok Timur, NTB. Penulis terlahir sebagai putra dari H. Mansyur Akrami dan ibu Nikmah. Pendidikan dasar penulis jalani di Madrasah Ibtidaiyah NW Wanasaba tahun 1991-1996. Pendidikan menengah pertama di SLTPN 2 Aikmel tahun 1997-2000. Pendidikan menengah atas penulis ikuti di SMUN 2 Selong Lombok

Timur tahun 2001-2003. Kemudian hampir 2 tahun bekerja serabutan di Jakarta. *Alhamdulillah*, tahun 2005 penulis dapat melanjutkan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Universitas Negeri Surabaya (UNESA) di Jurusan Fisika pada tahun 2005-2010. Setelah lulus, penulis kembali ke Jakarta dan bekerja sebagai tim editor di penerbit Bintang Indonesia 2010-2011. Awal 2012 penulis kembali ke Surabaya dan bekerja sebagai *Technical Support* di anak perusahaan Telkom hingga 2015. Tahun 2013 penulis berhasil masuk pendidikan pascasarjana di ITS Surabaya di Jurusan Fisika lewat jalur mandiri.

Bidang penelitian penulis adalah Material, khususnya terkait Rekayasa Material dan Analisis karakterisasi bahan. Aktifitas perkuliahan yang berat yang dijalani sambil bekerja menjadikan beratnya berlipat-lipat. Hal ini mempengaruhi *research* yang penulis geluti dan kesempatan seminar. Penulis berkesempatan untuk mempublikasikan hasil penelitian di *Jurnal Fisika dan Aplikasinya* (JFA), jurusan Fisika ITS edisi Januari tahun 2016. Meskipun kegiatan belajar sangat berat, penulis tetap selalu ingin belajar karena penulis sadar bahwa “*Pendidikan adalah cara yang paling efektif untuk melakukan perubahan,*” kata Mandella.

Bagi para pembaca yang tertarik dengan topik penelitian penulis, bisa menghubungi email berikut:

ridhoakrami@gmail.com atau moh.ridha.13@mhs.physics.its.ac.id

Semoga Bermanfaat,, dan Semangat!!! ☺ ☺ ☺